



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**VÝVOJ PRŮMYSLOVÉHO LEPIDLA
PRO UKLÁDÁNÍ NENASÁKAVÝCH PRVKŮ**

DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ADHESIVE MATERIAL FOR DEPOSITION
OF NONABSORBENT COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamila Bergerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,
MBA**

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kamila Bergerová
Název	Vývoj průmyslového lepidla pro ukládání nenasákavých prvků
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

SHIMIZU, K.; MALMOS, K.; SPIEGELHAUER, S.; HINKE, J.; HOLM, A.; PEDERSEN, S.; DAASBJERG, K.; HINGE, M. Durability of PEEK adhesive to stainless steel modified with aryldiazonium salts, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 51, June 2014, Pages 1-12, ISSN 0143-7496

NAITO, K.; ONTA, M.; KOGO, Y. The effect of adhesive thickness on tensile and shear strength of polyimide adhesive, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 36, July 2012, Pages 77-85, ISSN 0143-7496

FERRIER, E.; RABINOVITCH, o.; MICHEL, E. Mechanical behavior of concrete-resin/adhesive-FRP structural assemblies under low and high temperatures, Construction and Building Materials, Volume 127, 30 November 2016, Pages 1017-1028, ISSN 0950-0618

MOHAMMADI, M.; MOGHATAEI, R. M.; SAMANI, N. A. Influence of silica fume and metakaolin with two different types of interfacial adhesives on the bond strength of repaired concrete, Construction and Building Materials, , Pages 141-150, ISSN 0950-0618

ČSN EN 12808-1 - Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 1: Stanovení chemické odolnosti malt na bázi reaktivních pryskyřic

ČSN EN ISO 9664 - Lepidla - Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžovaných ve smyku tahem

ČSN EN 1323 - Malty a lepidla pro keramické obkladové prvky - Betonové desky pro zkoušení

Výzkumné zprávy a protokoly ústavu THD, příspěvky ze sborníků konferencí, odborné články, časopisy, normy.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem řešení bakalářské práce bude problematika uložení nenasákavých prvků (převážně výrobků z taveného čediče) v prostředích, které jsou vystaveny působení chemicky agresivních látek a vysokých teplot. Cílem práce bude návrh receptury průmyslového lepidla na silikátové nebo polymerní bázi s podílem druhotných surovin jako plniva a ověření vlastností tohoto nově vyvinutého materiálu.

1. Proveďte rešeršní zhodnocení v současnosti používaných druhů průmyslových lepidel dle jejich materiálového složení a aplikačního použití.
2. Proveďte průzkum současného stavu poznání nenasákavých prvků se zaměřením na materiály z taveného čediče v ČR i ve světě.
3. Formulujte požadavky na vlastnosti vyvíjených lepicích hmot, určených pro aplikaci v agresivním prostředí, zejména se silným chemickým a tepelným působením.
4. Zhodnoťte možnosti využití druhotných surovin pro nová průmyslová lepidla a navrhnete vhodné typy.
5. Navrhnete materiálové složení nového průmyslového lepidla na silikátové i polymerní bázi pro ukládání nenasákavých prvků v agresivním prostředí na silikátový a kovový podklad. Proveďte jejich porovnání a částečné experimentální ověření.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,

MBA

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá vývojem průmyslového lepidla pro ukládání nenasákavých prvků v prostředích vystavených působení agresivních chemikálií a vysokých teplot. Teoretická část je převážně zaměřena na shrnutí poznatků o lepicích hmotách. Práce rovněž zahrnuje popis lepených prvků, věnuje se teorii lepení a představuje použité materiály. Práce si klade za cíl předložit návrh materiálové složení nového průmyslového lepidla na silikátové i polymerní bázi. Zároveň práce zkoumá možnosti využití průmyslového odpadu jako druhotných surovin. Závěr se věnuje laboratornímu testování nově vyvinutých hmot, shrnutí a diskuzi zjištěných výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

lepicí hmoty, druhotné suroviny, tepelná odolnost, chemická odolnost, nenasákavé prvky

ABSTRACT

The thesis deals with the development of industrial adhesive material for deposition of nonabsorbent components in environments exposed to aggressive chemicals and high temperatures. The theoretical part is mainly focused on summarizing knowledge about adhesive materials. The study also includes description of bonded components, describes theory of adhesion and introduces the used materials. The primary aim of this work is to present new design of material composition of a new adhesive of polymer and silicate base material. The work also investigates the possibility of using the industrial waste in the form of secondary raw material. The final part is dedicated to laboratory testing of new developed materials, summarization and discussion of the obtained results.

KEYWORDS

adhesive materials, secondary raw materials, heat resistance, chemical resistance, nonabsorbent components

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Kamila Bergerová *Vývoj průmyslového lepidla pro ukládání nenasákavých prvků*. Brno, 2017. 75 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

Kamila Bergerová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2017

Kamila Bergerová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou vyjádřila své poděkování vedoucímu své bakalářské práce prof. Ing. Rostislavu Drochytkoví, CSc., MBA za věnovaný čas, cenné připomínky a rady, které mi pomohly k vyhotovení této práce. Dále mé poděkování patří Ing. Jindřichu Melicharovi za odborné konzultace a pomoc při zpracování tohoto tématu.

V neposlední řadě bych rovněž chtěla poděkovat svým blízkým a rodině za jejich neustálou podporu.

Předložená práce byla zpracována v rámci řešení projektu TH02020415 „Pokročilé lepicí hmoty s vyšším podílem druhotných surovin do extrémně namáhaných prostředí“.

OBSAH

ÚVOD.....	12
TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1 LEPICÍ HMOTY	13
1.1 Základní principy lepení	13
1.2 Druhy lepicích hmot	15
1.2.1 Lepicí hmoty na bázi cementu.....	16
1.2.2 Lepicí hmoty na polymerní bázi: disperzní, reakční, silikonové	17
1.3 Označení lepicích hmot.....	18
2 SUROVINY PRO VÝROBU LEPICÍCH HMOT	19
2.1 Pojiva lepicích hmot.....	19
2.1.1 Cement.....	19
2.1.2 Polymerní materiály.....	20
2.2 Plniva lepicích hmot.....	22
2.2.1 Rozdělení plniv.....	22
2.2.2 Vlastnosti plniv a plněných materiálů.....	23
3 VLASTNOSTI LEPENÝCH MATERIÁLŮ A SPOJŮ V AGRESIVNÍCH PROSTŘEDÍ...24	
3.1 Lepené materiály	24
3.1.1 Chemická podstata lepených materiálů	24
3.1.2 Savost lepených materiálů.....	24
3.1.3 Teplotní délková roztažnost	25
3.2 Životnost lepených spojů.....	25
3.2.1 Tepelná odolnost spoje.....	25
3.2.2 Chemická odolnost spoje.....	26
3.3 Nenasákavé prvky z taveného čediče	26
3.3.1 Zpracování čediče.....	26
3.3.2 Vlastnosti výrobků z taveného čediče.....	28
3.3.3 Vybrané výrobky z taveného čediče	30
3.3.4 Současný stav v ČR i ve světě.....	31
PRAKTICKÁ ČÁST	32
4 CÍL	32
5 METODIKA PRÁCE	33
6 ETAPA I: ANALÝZA PRŮMYSLVÝCH LEPIDEL	36
6.1 Požadavky na vlastnosti lepicích hmot	36

6.2	Požadavky na podkladové materiály	36
6.3	Analýza expozičních prostředí	38
6.3.1	Tepelné namáhání	38
6.3.2	Vlhkost.....	38
6.3.3	Mrazové působení vody.....	39
6.3.4	Chemické zatížení	39
6.4	Požadavky na vlastnosti lepicích hmot dle prostředí.....	39
6.4.1	Extrémně namáhané průmyslové provozy	39
6.4.2	Kanalizace	41
6.5	Vybrané produkty pro lepení nenasákavých povrchů dostupné na českém trhu.....	41
6.5.1	Cementová lepidla.....	41
6.5.2	Lepidla na bázi reakčních pryskyřic.....	44
6.6	Shrnutí etapy I	45
7	ETAPA II: ROZBOR SUROVIN PRO NAVRHOVANÉ LEPICÍ HMOTY	47
7.1	Pojiva	47
7.2	Plniva	48
7.2.1	Primární.....	48
7.2.2	Druhotné suroviny vhodné jako plniva	49
7.3	Posouzení kompatibility uvažovaných vstupních surovin	52
7.4	Shrnutí etapy II	53
8	ETAPA III: VOLBA MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NOVÝCH LEPICÍCH HMOT	54
8.1	Optimalizace a výběr druhotných surovin	54
8.2	Návrh receptur lepicích hmot	55
8.2.1	Lepicí hmoty na silikátové bázi.....	55
8.2.2	Lepicí hmoty na epoxidové bázi	56
8.3	Shrnutí etapy III	58
9	ETAPA IV: EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ NAVRHOVANÝCH LEPICÍCH HMOT	59
9.1	Popis prováděných zkoušek.....	59
9.1.1	Příprava vstupních surovin.....	59
9.1.2	Příprava testovaných hmot	60
9.1.3	Stanovení přídržnosti.....	60
9.2	Vyhodnocení.....	63
9.3	Shrnutí etapy IV a diskuze výsledků.....	64
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	68

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74
SEZNAM GRAFŮ.....	74
SEZNAM TABULEK	75

ÚVOD

Spojování materiálů lepením se využívá v nejrůznějších oborech lidské činnosti již od dávných dob našich předků. Ovšem až s technologickou vyspělostí lidstva, kdy bylo umožněno průmyslově vyrábět lepidla pomocí plastických hmot, se jejich využití značně rozmohlo a došlo ke vzniku zcela nových odvětví, jelikož pro své výrazně lepší vlastnosti přinesla syntetická lepidla řadu nových možností. Je třeba si uvědomit, že lepicí hmoty jsou vystavovány stejným vlivům jako lepené prvky, z tohoto důvodu se musí jejich vlastnosti co nejvíce blížit vlastnostem těchto materiálů. Vzhledem k této skutečnosti nebylo v minulosti možné využívat odolnost lepených materiálů vůči nejrůznějším vlivům ve větším rozsahu, neboť spojovací materiály nevykazovaly takovou odolnost vůči agresivnímu působení okolního prostředí. V současnosti již existují lepicí hmoty, které vyhovují kladeným požadavkům, ovšem je třeba stále hledat nové směry a možnosti.

Stavebnictví v dnešní době čelí nelehkému úkolu dosáhnout co nejvyšších finančních úspor při výrobě materiálů. Nicméně snižování nákladů nesmí být na úkor kvality. Díky tomu v posledních letech nabylo na významu využívání druhotných surovin. Užití odpadních surovin v oblasti stavební výroby často zlepšuje celkové výsledné vlastnosti materiálů. Tyto materiály potom představují významný ekonomický i ekologický přínos.

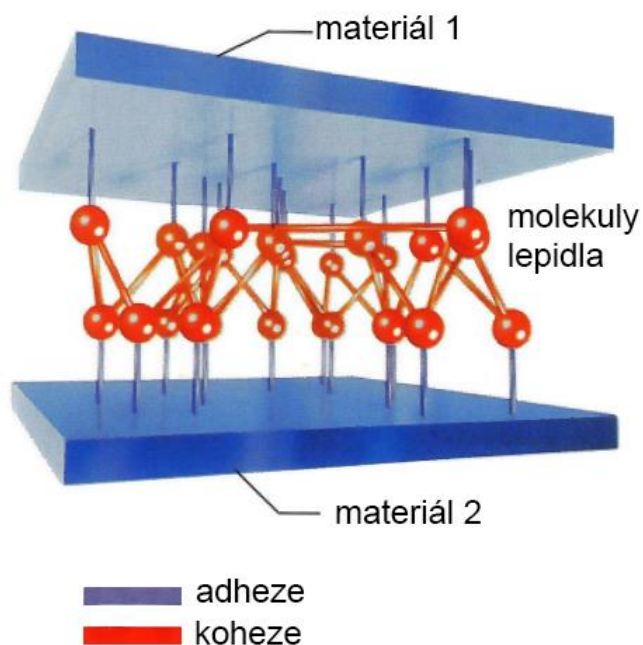
Vzhledem k těmto skutečnostem je v této práci věnována pozornost lepicím hmotám odolným vůči působení vysokých teplot a chemicky agresivního prostředí. Část práce se bude zabývat možnostmi zlepšení vlastností vyvíjených lepicích hmot pomocí aplikace vybraných druhů odpadních surovin.

TEORETICKÁ ČÁST

1 LEPICÍ HMOTY

1.1 Základní principy lepení

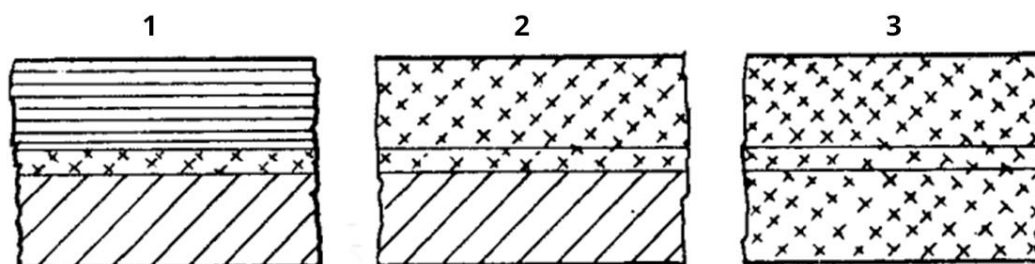
Princip lepení spočívá v působení sil, které se souhrnně označují jako koheze a adheze. Adheze čili přilnavost je vlastnost lepidla, která vyjadřuje schopnost lepicí hmoty přilnout k lepenému povrchu. Koheze je soudržnost mezi částicemi vlastního lepidla. Adheze společně s kohezí rozhodují o pevnosti lepeného spoje. [1]



Obrázek 1 Adheze a koheze v lepeném spoji [2]

Mezi povrchy pevných a tekutých látek vzniká lepší přilnavost než mezi dvěma povrchy látek pevných. Důvodem je schopnost kapaliny snadno se přizpůsobit nerovnostem povrchu. Kapalina také dokáže z mikropórů odstranit většinu pohlcených par a plynů. Dalším, neméně důležitým pojmem je smáčivost. Aby se kapalina stala lepidlem, musí se lepený povrch dobře smáčet a za určitých podmínek přejít do stavu pevného.

Podle složení spojovaných materiálů a použitého lepidla mohou nastat různé způsoby adheze. V případě, že má spojovaný materiál (adherend) a lepidlo (adhezivum) stejné složení, hovoříme o autoadhezi jednostranné či oboustranné. [3]



- 1 - složení lepidla je odlišné od složení lepených dílců, běžný adhezivní vztah
 2 - lepidlo a jedna z lepených ploch mají shodné chemické složení - jednostranná autoadheze
 3 - lepidlo a oba lepené materiály mají shodné chemické složení - úplná autoadheze

Obrázek 2 Vztah lepidla k lepenému materiálu [3]

Mezi lepicí hmotou a lepeným povrchem rozeznáváme dva hlavní druhy vazeb: mechanická a chemická.

K **mechanické vazbě** dochází u členitých a porézních povrchů. Lepidlo ve svém tekutém stavu vnikne do pórů lepeného povrchu, poté dojde k zatuhnutí adheziva a vytvoří se pevné spojení mezi hmotou lepidla a lepeného povrchu. Mechanická vazba je významná při lepení materiálů, jako je dřevo, papír, keramika nebo pěnové plasty. V případě lepení leštěných hladkých povrchů je však zanedbatelná.

Chemická (specifická) vazba se uplatňuje u porézních i hladkých povrchů. Tato teorie se zakládá nejen na působení slabých Van der Waalsových sil mezi molekulami adheziva a lepeného materiálu, ale především na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Díky tomu se lépe spojují materiály, které mají reaktivní povrch, nebo povrch chemicky upraven tak, aby mohla proběhnout chemická reakce mezi lepidlem a povrchem za vzniku kovalentní vazby. U špatně spojitelných povrchů jako je např. nikl, zlato, aj. se chemická vazba nevytváří. [4]

Jak již bylo zmíněno, důležitá je také smáčivost povrchu. Se smáčivostí úzce souvisí povrchové napětí lepidla. Jestliže má kapalina pevnou látku smáčet, musí být její povrchové napětí menší než povrchové napětí podkladu. Je-li naopak povrchové napětí adherendu vyšší než u materiálu lepeného povrchu, nedojde ke smočení a nevytvoří se tak vhodné podmínky ke spojení. [3] [4]

Dobrá adheze lepidla však nezaručuje, že se jedná o kvalitní spojovací materiál. Lepidlo se musí vyznačovat také dobrou kohezí. Koheze představuje vlastní pevnost vrstvy lepidla. V případě, že se lepený spoj roztáhne ve vrstvě lepidla, znamená to, že adheze i pevnost lepeného materiálu je vyšší než koheze. Kohezní pevnost závisí na vybraném druhu lepidla. Dvousložkové epoxidy mají vysokou kohezi, naopak měkké akryláty mají kohezi nízkou. Kohezi v mnoha případech negativně ovlivňuje také tepelné namáhání lepeného spoje. [4] [5]

1.2 Druhy lepicích hmot

Podle složení a principu činnosti existují dva základní typy spojovacích materiálů: maltoviny a lepidla.

Maltoviny představují směsi hydraulických (cementových) pojiv, minerálů a jiných organických přísad v suchém, převážně práškovém stavu. Po zamísení s vodou vznikne plastické těsto nazývané malta (s jemnozrnným plnivem), v některých případech i pasta (bez plniva).

Lepidly se naopak rozumějí polymerní lepicí hmoty samotné nebo s plnivem. Polymery jsou látky, v jejichž velké molekule (makromolekule) se jako článek v řetězu mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka. Disperzní lepidla tvoří hotové homogenní směsi z organických pojiv ve formě vodní disperze a minerálních přísad. Reakce vytvrzování lepidla probíhá postupným odpařováním vody obsažené v lepidle, resp. případným sesíťováním. Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic se skládají z polymerních pryskyřic a minerálních a organických přísad. Podle typu reagujících látek bývají jednosložková nebo častěji vícesložková. [1] [6]

Tabulka 1 Rozdělení jednotlivých druhů lepicích hmot [6]

Druh lepicí hmoty	Označení	Flexibilita	Vytvrzování	Rozdělení
Čistě cementové maltoviny a malty	CM (Cement Mortar)	Neflexibilní	Hydraulicky	Žádné
Polymercementové maltoviny a malty	PMM (Polymer-Modified Mortar)	Flexibilní dle druhu	Hydraulicky	Prefabrikované Polymery zušlechtěné
Čistě polymerní lepidla a tmely	PM (Polymer Mortar)	Flexibilní dle druhu	Odpařením vody nebo sesíťováním	Disperzní (vhodné akrylátové disperze)
		Flexibilní dle druhu	Tvrdidly – chemickou reakcí	<ul style="list-style-type: none"> • Reakční (reaktivní, pryskyřičné) • Akrylátové • Epoxidové • Polyuretanové
		Flexibilní	Chemickou reakcí	Silikonové

1.2.1 Lepicí hmoty na bázi cementu

▪ Čistě cementové maltoviny

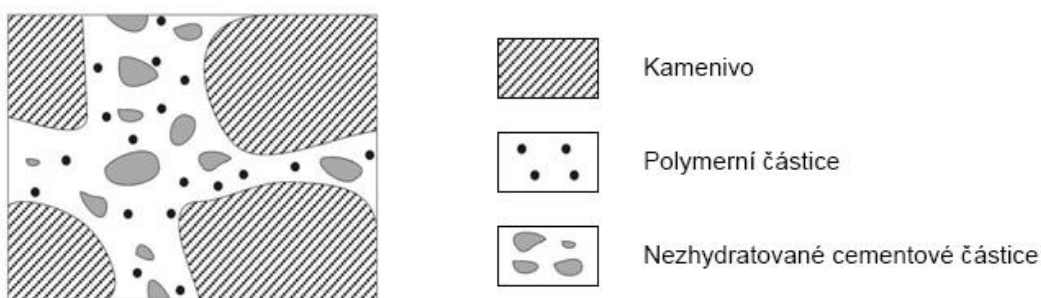
Jedná se o směsi cementu, vody a drobného kameniva (plniva). V daném poměru vytvářejí klasickou spojovací maltu. Tento typ maltoviny se dnes používá už jen pro podklad pod nejrůznější typy dlažeb. Naopak nelze doporučit použití čistě cementové suspenze pro tenkovrstvé lepení dlaždic a obkládaček. Výsledkem je sice obvykle velmi soudržný spoj, avšak mimořádně křehký s vysokým modulem pružnosti, což v praxi často vede ke ztrátě soudržnosti. [6]

▪ Polymercementové maltoviny

Polymercementové maltoviny jsou v dnešní době nejrozšířenější používanou lepicí hmotou. Čistě cementové malty mají určité nevýhody, jako je zpomalené tvrdnutí, nízká tahová pevnost, vysoké smrštění a nízká chemická odolnost. Právě za účelem odstranění či redukce těchto nevýhod bylo vyzkoušeno užití polymerů. Bylo zjištěno, že přidáním organických polymerních aditiv dochází k výraznému zlepšení vlastností spojovacích hmot. Zvyšují lepivost, přídržnost k podkladu a do jisté míry snižují modul pružnosti, což se projevuje zvýšenou flexibilitou hmoty. [6] [7]

Tyto hmoty se skládají ze stabilizátorů, které zajišťují mimořádnou tixotropii neboli nestékavost, dále z redispergovaných polymerů, které ovlivňují lepivost maltoviny, její pružnost a velkou měrou mohou potlačovat její smršťování, a nakonec obsahují přísady, které se nazývají odpěňovače a redukují případné provzdušňující účinky redispergovaných polymerů. Zároveň zvyšují hutnost, tím snižují nasákavost maltoviny a zvýší její mechanické vlastnosti. [6]

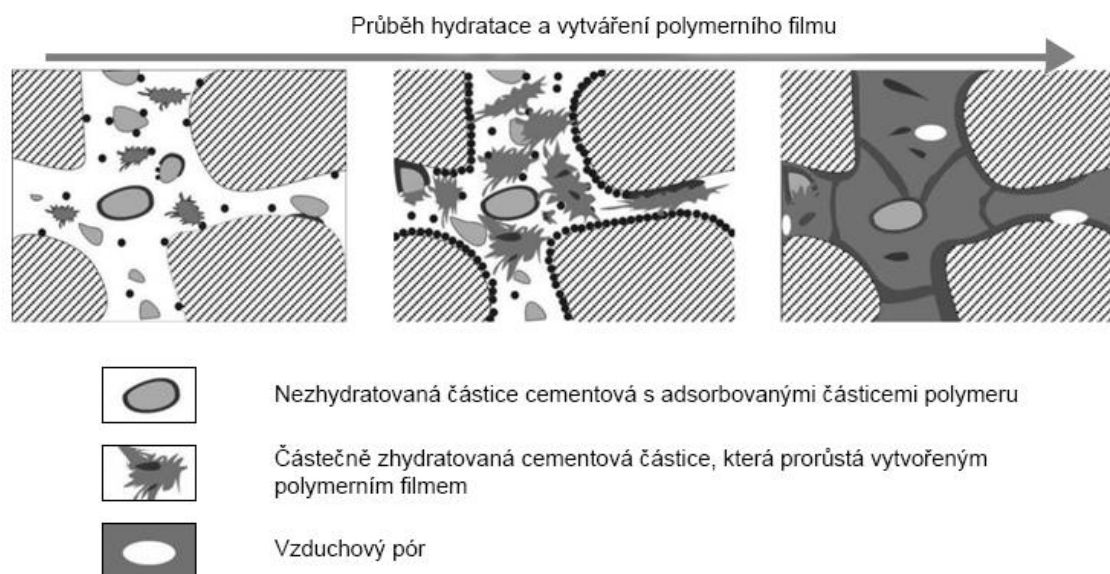
Po zamíchání všech složek PMM s vodou se zahajuje první část hydratace cementu. V této fázi má směs vlastnosti téměř shodné s maltou neobsahující polymer.



Obrázek 3 PMM ihned po zamíchání [8]

Následně začínají polymerní částice spolupůsobit s cementovými zrny a s kamenivem. V dalším kroku pokračuje tvorba hydratované fáze. Polymerní film se začíná tvořit

ve specifických bodech a dochází k tvorbě souvislého polymerního filmu. Poslední krok zahrnuje pokračování hydratace cementu a dovršení tvorby polymerního filmu. [9]



Obrázek 4 Stadia tvorby matrice složené z cementu a polymeru po zamíchání [8]

Polymercementové maltoviny jsou doporučovány do různých druhů provozu i podkladů. Naopak se nedoporučují do extrémně mechanicky, chemicky i vlhkostně namáhaných prostředí. [6]

1.2.2 Lepicí hmoty na polymerní bázi: disperzní, reakční, silikonové

Skupina lepicích hmot na čistě polymerní bázi představuje speciální druh lepidel, které umožňují k podkladu připevnit vysoce slinuté keramické prvky, přírodní kámen či sklo. Mají mimořádně vysokou přídržnost k podkladu. Také jsou zcela mrazuvzdorné a v některých případech chemicky odolné. Všechny tyto výhody se však odráží na vyšší ceně materiálu, která mnohonásobně převyšuje cenu standardních polymerních maltovin.

Jedná se o speciální produkty např. na bázi akrylátových vodných disperzí, nevodných akrylátových, polyuretanových, epoxidových a případně silikonových pryskyřic, kde vaznou fází tvoří čistě polymerní složka doplněná pouze inertním plnivem (kamenivem).

S výjimkou řady druhů akrylátových vodných disperzí se jedná převážně o dvousložkové hmoty, které vyžadují speciální pracovní postupy založené většinou na reakci pryskyřice s tvrdidlem, urychlovačem či jinou polymerní hmotou. Z těchto důvodů hovoříme o reakčních, někdy také reaktivních pryskyřičných lepidlech. Jejich užití připadá v úvahu u extrémně namáhaných keramických obkladů či dlažeb nebo v těch případech, kdy vrstva obkladu či dlažby má současně vytvořit vodotěsnou bariéru. [6]

1.3 Označení lepicích hmot

Značení lepidel stanovuje česká technická norma ČSN EN 12004+A *Lepidla pro obkladové prvky – Požadavky, posuzování shody, klasifikace a označování*. Tato norma předepisuje terminologii vztahující se k výrobkům, pracovním metodám a aplikačním vlastnostem malt a lepidel pro keramické obkladové prvky.

Vlastnosti lepidel přímo ovlivňuje druh použitého plniva. Podle chemické povahy pojiv se dělí do třech skupin:

Tabulka 2 Označení lepicích hmot [10]

Označení	Druh	Popis
C	Cementové lepidlo	směs hydraulických pojiv, kameniva a organických přísad, která se bezprostředně před použitím mísí s vodou nebo kapalnou složkou
D	Disperzní lepidlo	směs organických pojiv ve formě vodné polymerní disperze, organických přísad a minerálních plniv připravená k použití
R	Lepidlo na bázi reakčních pryskyřic	jedno nebo vícesložková směs syntetické pryskyřice, minerálních plniv a organických přísad, která se vytvrzuje chemickou reakcí.

Každý druh se může vyskytovat v různé třídě, pro označení používáme tyto zkratky:

- 1 – standardní lepidlo,
- 2 – zlepšené lepidlo (splňuje požadavky na doplňkové vlastnosti),
- F – rychle tvrdnoucí lepidlo,
- T – lepidlo se sníženým skluzem,
- E – lepidlo s prodlouženou dobou zavadnutí. [10]

2 SUROVINY PRO VÝROBU LEPICÍCH HMOT

2.1 Pojiva lepicích hmot

Pojivem se rozumí látka nebo směs látek, které se povětšinou upravují do tekuté neb kašovitě formy a následně snadno přecházejí z této formy do formy pevné. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, je třeba rozlišovat pojiva organického a anorganického původu. Jednotlivé druhy pojiva propůjčují lepicím hmotám specifické vlastnosti a následující podkapitola poskytuje přehled o základních informacích o pojivech a poukazuje na jejich hlavní výhody a nedostatky.

2.1.1 Cement

Cement je definován jako hydraulické práškové pojivo (maltovina), jehož účinnými složkami jsou sloučeniny CaO , SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 , popř. jiné sloučeniny podobného typu. Po smíchání s vodou tuhne a tvrdne, a to na vzduchu i ve vodě. Cement se podle ČSN EN 197-1 [11] dělí do pěti hlavních druhů cementů:

- CEM I Portlandský cement
- CEM II Portlandský cement směsný
- CEM III Vysokopeční cement
- CEM IV Pucolánový cement
- CEM V Směsný cement

Nejvýznamnějším zástupcem je cement portlandský. V pojmu portlandský cement je zahrnuta řada druhů s modifikovaným složením. Společnou charakteristikou cementů, které jsou zahrnuty pod označením portlandský cement, je výrobní postup a mineralogické složení. Výrobní postup záleží na výpalu směsi surovin do slinutí. Vzniká slínek a z něj se získá portlandský cement jemným mletím. Dalším společným znakem všech portlandských cementů je mineralogické složení, které vzniklo vysokoteplotními reakcemi v surovinové směsi. Produktem je heterogenní hmota, která obsahuje hlavně křemičitany, v menší míře hlinitany a železitany vápníku a skelnou fázi. [12]

Dále existují skupiny speciálních cementů, mezi které patří cementy hlinitanové, které obsahují více než 35 % Al_2O_3 . Oxid hlinitý se do surovinové směsi vnáší hlavně bauxitem. Na rozdíl od křemičitanových cementů dosahuje hlinitanový cement rychleji konečné pevnosti, vyžaduje ovšem větší množství vody a časem jeho pevnost klesá, a proto je vyloučené používat jej k výrobě konstrukčních betonů. Na druhé straně je však odolný v chemickém agresivním prostředí a k vysokým teplotám. V odborných studiích je hlinitanový cement prezentován jako dobrý akcelérátor tuhnutí při hydrataci portlandského cementu. Díky tomu je přidáván do mnoha stavebních hmot včetně lepidel na bázi cementu. [13] [14] [15]

2.1.2 Polymerní materiály

▪ Akrylátové disperze

Polyakryláty se označují polymery a kopolymery kyseliny akrylové a methakrylové a jejich estery, amidy, nitrily i 2–kyanakryláty. Jsou známy svojí odolností vůči povětrnosti, stálostí na světle, transparentností a dobrou přilnavostí. [6]

▪ Epoxidové pryskyřice

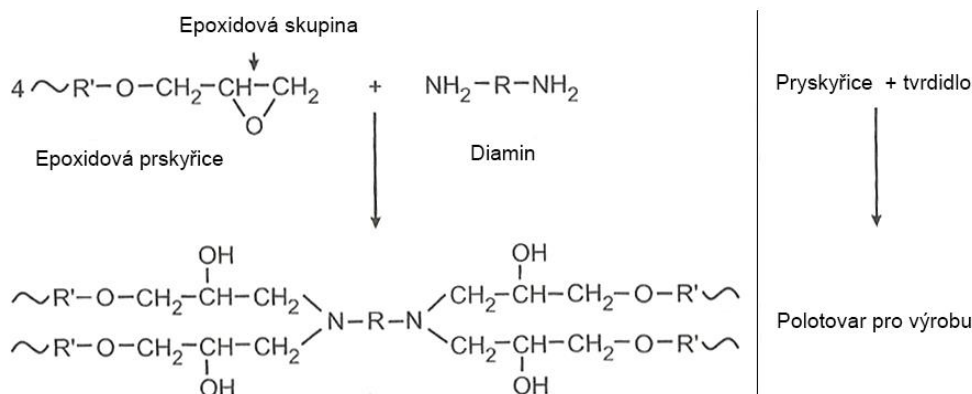
Epoxidová lepidla tvoří nejrozšířenější skupinu lepidel. Základní složkou epoxidových lepidel jsou epoxidové pryskyřice. Jedná se o sloučeniny, které v molekule obsahují více než jednu epoxidovou skupinu. Epoxidová skupina je trojčlenný kruh, který se skládá ze dvou uhlíkových a jednoho kyslíkového atomu. [16] Tato skupina je velice reaktivní. Právě díky její reaktivitě s velkým počtem látek, vedoucí k zesíťovaným makromolekulárním produktům, dobrým mechanickým a elektrickým vlastnostem nachází široké upotřebení v mnoha oblastech. Jako lepidla se používají buď bez dalších úprav, nebo jsou jejich vlastnosti upravovány dalšími látkami (změkčovadla, reaktivní rozpouštědla). [17] [18] [19]

V nevytvrzeném stavu se jedná o kapalné nebo pevné látky. S pevnými lepidly se pracuje za zvýšené teploty, při které se pryskyřice roztaví. Zpracovávají se ve směsi s tvrdidly až po teploty do 200 °C. Při vytvrzování se neodštěpují vedlejší produkty a dochází jen k malému smrštění. Je důležité, aby během vytvrzování nevznikaly v lepidle žádná namáhání oslabující adhezi, což znamená, že lepidlo musí mít minimální smršťivost a nesmí obsahovat těkavé zplodiny vzniklé reakcí nebo z použitých rozpouštědel. [17]

Existují různé způsoby vytvrzování epoxidových pryskyřic, které závisí na konečném využití pryskyřice a technologickém postupu pracování. Vytvrzení lze provádět:

- polyadici probíhající na epoxidových skupinách;
- polykondenzací přítomných hydroxylových skupin;
- polymerací epoxidových skupin.

V praxi je z uvedených způsobů nejvýznamnější první zmíněná možnost vytvrzení. Jako tvrdidla se používají nejčastěji polyaminy, polythioly, anhydridy polykarboxylových kyselin a pryskyřice obsahující reaktivní methylové skupiny jako jsou fenol-, močovino- a melaminoformaldehydové pryskyřice. [20]

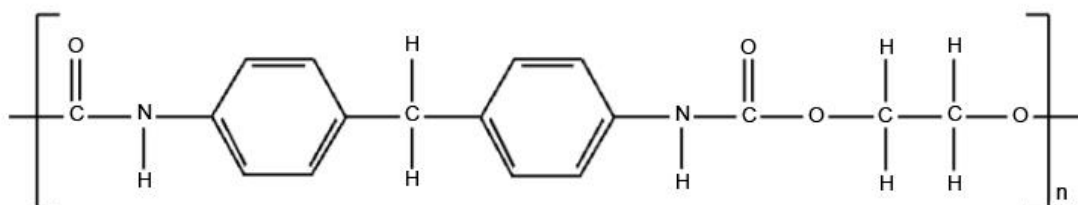


Obrázek 5 Polyadiční reakce mezi epoxidovou prskyřicí a tvrdidlem [16]

Vytvrzené produkty mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku aj. Kromě toho mají dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti v poměrně široké oblasti teplot. Mezi další výhody patří odolnost vůči působení vody, roztokům alkálií a kyselin a některým rozpouštědlům. [18] [19] Jejich chemická a teplotní odolnost stoupá s délkou řetězce molekuly a se stupněm zesíťení. [17]

▪ Polyuretany

Polyuretan (PUR) patří do skupiny syntetických polymerů. Základem syntézy polyuretanových lepidel je reakce izokyanátů (látky obsahující chemicky reaktivní skupiny $-NCO$), polyolů (polyestery, polyethery), aminů a vody (látky obsahující hydroxylové skupiny a aminové skupiny $-OH$, $-NH_2$). [21]



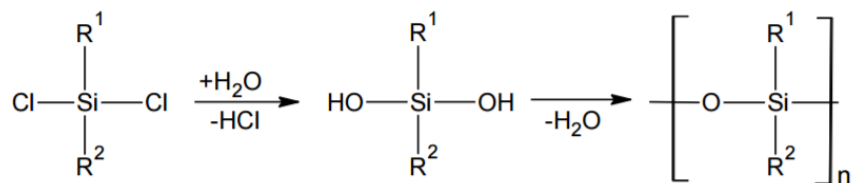
Obrázek 6 Strukturní vzorec PUR [22]

Mezi největší přednosti polyuretanových lepidel patří výborná adheze a koheze a také dobrá mechanická pevnost. Mimořádná adheze je zapříčiněna tím, že vznikající vodní film na povrchu lepených dílců zreaguje s pojivem, takže nedochází ke vzniku nežádoucí vrstvy. Další jejich výhodou je, že dle potřeby lze získat spoje tvrdé, měkké či trvale pružné. [1]

Vytvrzují se vlivem vzdušné vlhkosti. Své využití nachází při lepení keramických obkladových prvků ke dřevu, kovům a plastickým hmotám. [1] [3]

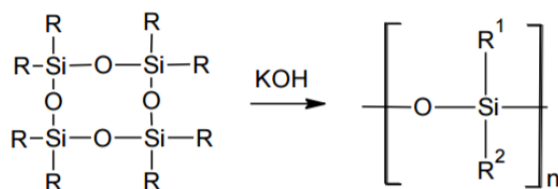
▪ Silikonové pryskyřice

Hydrolyzou dichlorsilanů a jejich samovolnou polykondenzací nebo polymerací cyklosiloxanů lze připravit polysiloxany neboli silikony.



Obrázek 7 Hydrolyza dichlorsilanů a jejich samovolná polykondenzace [20]

Většinou se vyrábějí za přítomnosti organických rozpouštědel. K dokončení polykondenzace na sesíťované makromolekuly dochází teprve po odpaření rozpouštědla a zahřívání na teplotu 220°C až 240°C po dobu 1 až 5 hodin. [20]



Obrázek 8 Polymerace cyklosiloxanů [20]

Jedna z největších předností silikonových pryskyřic je jejich výborná odolnost vůči vysokým teplotám (-50 až 200 °C), dále vysoká odolnost vůči teplotním šokům, velká hydrofobizační schopnost a chemická odolnost. Silikonové pryskyřice také dobře odolávají povětrnostním vlivům a působení ozónu a slunečního záření. [6]

2.2 Plniva lepicích hmot

Prvotním důvodem, proč začala být do materiálů přidávána plniva, byla snaha snížit celkovou cenu výrobku. Nicméně snížení nákladů není jediným účelem použití plniv a v současnosti plniva představují významnou složku lepicích materiálů i z jiného důvodu. Ještě významnějším důvodem je skutečnost, že plniva přispívají ke zlepšení vlastností materiálů v závislosti na druhu použitého plniva. Lze zlepšovat mechanické vlastnosti jako je např. pevnost, odolnost proti oděru či tepelná odolnost. [23] [24] [25]

2.2.1 Rozdělení plniv

Rozdělení dle původu

Existuje široká škála materiálů, které se používají jako plniva. Nejvíce vypovídající a nejprůhlednější je rozdělení na základě jejich původu:

- **Přírodní** – jedná se o materiály, které se těží a poté upravují na požadovanou frakci a čistotu. Např.: křemičitý písek, kaolin, mastek, slída atd.
- **Průmyslově vyráběné** – materiály, které se vyrábějí přímo na požadovanou čistotu, frakci, hustotu a další. Jejich nevýhodou je poměrně vysoká cena.
- **Druhotná plniva** – materiály, které se získávají z odpadních surovin. Čištěním a úpravou granulometrie se získávají materiály, které mohou částečně nebo i úplně nahrazovat plniva přírodní nebo průmyslově vyráběná např.: odprašky, popílký, skelný recyklát, struska atd.

Rozdělení dle funkce

Řada publikací rozlišuje plniva dle jejich funkce na aktivní (funkční) a neaktivní (plnicí). Aktivní plniva mají za úkol modifikovat různé vlastnosti hmot, naopak neaktivní převážně zaujímají prostor ve směsích, a tím snižují cenu materiálu. Některá plniva se však při snížení jejich velikosti částic nebo po povrchové úpravě mohou chovat jako plniva aktivní. Na druhou stranu plniva, která jsou aktivní v jedné směsi, můžou být v jiné směsi neaktivní. Tato skutečnost však značně komplikuje jasné rozdělení plniv dle funkce. [26]

Rozdělení dle struktury

V některé literatuře se používá i rozdělení podle velikosti a tvaru částic. Částice mohou mít tvar kulový, krychlový, nepravidelný, destičkový, vlákna nebo směs různých tvarů. Velikost těchto částic bývá od několika nanometrů (nanoplňiva) až po desítky milimetrů (vlákna). Podle vnitřní struktury rozlišujeme částice duté, pórovité či plné. [23]

2.2.2 Vlastnosti plniv a plněných materiálů

Správná volba plniva je často důležitá pro konečnou charakteristiku spoje (jeho tepelných, mechanických a chemických vlastností). Například plniva minerálního původu a kovová plniva zlepšují odolnost spoje vůči vlhkosti a vyšším teplotám. Na druhou stranu plniva organického původu tuto odolnost snižují. [3]

Z hlediska jakosti spoje je také nutné mít na zřeteli i objemové změny, k nimž dochází při přeměně tekutého lepidla v tuhý film. Čím vyšší je obsah aktivních složek a plniv v lepidle, tím menší jsou následné objemové změny. Z hlediska snížení objemových změn lepeného spoje lepidla je výhodnější použít plniva neobtnavá, minerálního původu. Zvláštním typem plniva jsou skleněné nebo kovové kuličky, které zvyšují rozměrovou stabilitu a odolnost proti rázům. [3] [27]

3 VLASTNOSTI LEPENÝCH MATERIÁLŮ A SPOJŮ V AGRESIVNÍCH PROSTŘEDÍ

3.1 Lepené materiály

Důležitým krokem, který ovlivňuje volbu lepidla, je zjistit vlastnosti lepených materiálů, a to zejména jejich strukturu, složení a savost. Tyto informace jsou klíčové a rozhodující pro výběr lepicí hmoty z hlediska adheze, koheze a tuhnutí lepidla ve spoji. Další významné vlastnosti sledované u lepených materiálů je jejich tepelná stálost a roztažnost. [3] [28]

3.1.1 Chemická podstata lepených materiálů

Mezi nejčastěji lepené materiály nepochybně patří kov, plasty či dřevo. Při lepení každého materiálu je nutné s ohledem na jeho chemickou podstatu zvolit vhodný typ lepidla. Pro kovy jsou to lepidla epoxidová a polyuretanová. V případě plastů rozdělujeme lepidla pro plasty polární a nepolární. Pro polární plasty jsou vhodná stejně jako u kovů epoxidová a polyuretanová lepidla. U nepolárních plastů se využívají lepidla kyanoakrylátová. Při lepení dřevěných prvků se hodí použít lepicí hmoty z řad epoxidových, polyuretanových či močovinnových lepidel. [4] [3]

3.1.2 Savost lepených materiálů

Dalším důležitým parametrem při výběru lepidla je savost povrchu. Za nesavé povrchy materiálů považujeme např. kovy, sklo, porcelán, plasty. Mezi savé povrchy řadíme dřevo či různé druhy zdiva a betonu. Jak je uvedeno následující tabulce, v případě, že je alespoň jeden z lepených materiálů savý, je možné vybrat z širokého výběru lepidel bez podstatného omezení. Zvláštní pozornost je však třeba věnovat případům, kdy jsou oba materiály nesavé. Tato varianta nám dovoluje využít jen lepidla čistě na polymerní bázi. [4]

Tabulka 3 Lepicí hmoty používané na základě savosti materiálů [4]

Kombinace materiálů dle savosti	Používané lepicí hmoty
Oba materiály savé	Široký výběr lepidel (disperzní, rozpouštědlová lepidla)
Oba materiály nesavé	Epoxidy, polyuretany, kyanoakryláty, kopolymery, polyamidy
Savý a nesavý materiál	Široký výběr lepidel (disperzní, rozpouštědlová lepidla)

3.1.3 Teplotní délková roztažnost

Tuhé materiály zvětšují zahřátím svůj objem a po ochlazení se znovu smršťují, při tom ne vždy do původního rozměru a polohy. Tyto změny závisí na složení materiálu, na jeho struktuře, tvaru a na teplotě. Ve směru uspořádání makromolekul hmoty a vláken plniva bývá zvětšení rozměrů vždy vyšší a naopak u materiálů s neorientovanou strukturou je zvětšení rozměrů ve všech směrech stejné. U kombinovaných spojů se může rozdílná teplotní délková roztažnost stát příčinou vzniku pnutí a následné deformace nebo porušení spoje. Velké rozdíly teplotní délkové roztažnosti jsou mezi kovy, keramikou a sklem, jak lze vidět v následující tabulce. [3]

Tabulka 4 Součinitelé délkové teplotní roztažnosti různých materiálů [3]

Konstrukční materiál	Součinitel délkové teplotní roztažnosti α [$K^{-1}10^6$]
Hliníkové slitiny	19,0 – 23,0
Měď	16,0 – 17,0
Nerezová ocel	17,3
Beton	7,0 – 10,0
Cihly pálené	5,0
Grafit	7,8
Pískovec	12,0
Sklo alkalické	4,8 – 9,0
Sklo křemenné	0,6
Polyethylen	180,0 – 230,0
Polypropylen	160,0

3.2 Životnost lepených spojů

3.2.1 Tepelná odolnost spoje

Tepelnou odolností se rozumí schopnost zachovat si vlastnosti i po dlouhodobém působení zvýšené teploty (tepelná stálost anebo odolnost proti tepelnému stárnutí), při zvýšení nebo snížení zkušební teploty (odolnost proti teplotě a odolnost proti mrazu) a odolnosti proti náhlé změně teploty (tepelný ráz). [29]

Není možné obecně určit vliv teploty na pevnost lepených spojů, avšak můžeme alespoň uvést přibližná pravidla, která platí pro běžně používané lepidla do nízkých teplot. U většiny lepidel pevnost ve smyku mezi teplotami 20 – 50 °C nejprve stoupá, a poté

začíná klesat. Mezi 60 – 100 °C je kritický interval teplot a zde pevnost u většiny lepidel klesá. [15]

3.2.2 Chemická odolnost spoje

Lepené spoje jsou v konstrukcích často vystaveny působení agresivních prostředí, většinou kapalin. Patří k nim anorganické a organické kyseliny, oxidační činidla, zásady, paliva, oleje, organická rozpouštědla, chladicí kapaliny apod. [29]

Lepené spoje různých materiálů jsou poměrně stálé proti vlivu mnoha kyselin. Epoxidová lepidla odolávají kyselině chlorovodíkové, ale v přítomnosti kyseliny dusičné podléhají destrukci. Pevnost spojů při lepení kovů a jiných nenasákavých prvků lepených různými lepidly, včetně epoxidových, se nemění při působení 30% kyseliny sírové. Specifický charakter má působení agresivních prostředí na lepidla disperzní. Kyselé prostředí negativně ovlivňuje kvalitu spoje. [29]

Čistě cementové malty mají velice nízkou odolnost vůči chemikáliím. Jak již bylo zmíněno, tento nedostatek je možné minimalizovat přidavkem polymeru. Vlastnosti polymercementových malt se pak odvíjí od druhu přidaného polymeru. [9]

Obecně lze říci, že chemická odolnost se zvyšuje stupněm vytvrzení a při použití polymerů vytvrzovaných za vyšší teploty. [29]

3.3 Nenasákavé prvky z taveného čediče

Vzhledem k tomu, že odlitky z taveného čediče patří mezi největší zástupce nenasákavých prvků do extrémně namáhaných podmínek, bude se těmito výrobky poslední podkapitola teoretické části práce se podrobněji zabývat.

Přírodní čedič neboli bazalt se u nás vyskytuje na mnoha místech. Vzhledem ke své velmi obtížné obrobitelnosti bylo v minulosti těžké plně využít čediče jako stavebního materiálu. Používal se pouze v případech, kdy nebylo vyžadováno přesnějších rozměrů, tedy ve formě drti, jako štěrku nebo dlažebního kamene. Až s vývojem průmyslu tavených hornin se kámen dočkal svého plného využití.

3.3.1 Zpracování čediče

V průběhu rozvoje petrurgie byly postupně vyzkoušeny různé horniny, avšak nejvíce se osvědčilo tavení bazaltových hornin vhodného složení.

Základní surovinou k výrobě odlitků je přírodní čedičový štěrk o vhodném chemickém a mineralogickém složení, který neobsahuje cizí příměsi. Pozornost je nutné věnovat obsahu olivínu. V případě, že hornina obsahuje vyrostlice olivínu blízké fayalitu, je jeho protavení snazší. Příčinou je teplota tání fayalitu 1200 °C. Daleko obtížněji tavitelný je forsteritový olivín, jehož teplota tání je o 400 °C vyšší, neboť reprezentuje hořečnato-

silikátovou žáruvzdornou hmotu. [30] Bazalt se dále skládá z oxidu křemičitého (42 až 46 %), magnetitu (do 10 %), augitu (50 %) a plagioklasu (20 %). Zmíněné složení již nepotřebuje žádných dalších přísad pro samotnou výrobu odlitků. Na území naší republiky můžeme čedič výše uvedeného složení nalézt v lomu Slapany u Chebu. [31]

Tavba probíhá v šachtových pecích, které jsou vytápěny zemním plynem. Pro správný chod tavicího agregátu a správné využití paliva je důležitá stejnoměrná zrnitost štěrku. [32] Tavenina se začíná tvořit při teplotě 1050 °C, avšak až při dosažení teplot v rozmezí 1200-1300 °C představuje již jedinou fázi. Poté se roztavený čedič, jehož teplota je ustálena, odlévá (v závislosti na požadovaném tvaru výrobku) do kovových forem (tzv. kokil), forem zhotovených z křemenného písku stmelěného bentonitem či do rotujících kolik. [30]

Tenkostěnné odlitky chladnou pouze několik minut, načež jsou z forem uvolněny a uloženy do tunelových chladicích pecí, kde se 16-21 hodin postupně ochlazují na teplotu 40 °C, čímž se zajistí absence pórů v zatuhlé struktuře. [31] [33]



Obrázek 9 Chlazení výrobků v tunelové peci - počátek procesu ochlazování [33]

V tunelové peci dochází k procesu rekrytalizace. Řízená rekrytalizace skelné fáze hraje klíčovou roli k dosažení požadovaných vlastností výsledného produktu. Tavenina během tuhnutí vytváří krystalickou fázi, a tím tvoří pevnou kostru výrobku. V první fázi dochází ke krystalizaci magnetitu, v další ke krystalizaci pyroxenu. Pyroxen představuje hlavní a nejvýznamnější minerální fázi v krystalické hmotě tavených čedičů. Dobře vykrystalizovaný tavený bazalt obsahuje pyroxen ze 70-85 %. Konečné výrobky jsou tvořeny z 85-90 % krystalickou fází a zbytek představuje skelná fáze. [30] [32]



Obrázek 10 Chlazení výrobků v tunelové peci - konec procesu ochlazování [33]

3.3.2 Vlastnosti výrobků z taveného čediče

Odlitky z taveného čediče mají nejen původní vlastnosti této suroviny, ale zpracováním získávají vlastnosti, kterými překonají vlastnosti kovových materiálů. [34]

V následující tabulce je uvedeno shrnutí významných vlastností taveného čediče v porovnání s čedičem přírodním.

Tabulka 5 Přehled vlastností přírodního a taveného čediče [31]

Vlastnost		Jednotka	Přírodní čedič	Tavený čedič
Měrná hmotnost		kg/m ³	3040	3000
Objemová hmotnost		kg/m ³	3017–3057	2900–3000
Nasákavost		% hmot.	–	0
Porezita skutečná		% obj.	–	1–3
Pevnost v tlaku		MPa	162–318	450
Pevnost v ohybu		MPa	16,5–35,1	40
Délková teplotní roztlačnost	0–200 °C	K ⁻¹ 10 ⁶	–	8
	0–400 °C			9
Tepelná vodivost		20 °C	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	–
Chemická odolnost	70% H ₂ SO ₄	% obj.	24	9
	1% NaOH		2	1,5

Tvrдост dle Mohse		–	8
Obrusnost DIN 52108	cm ³ /50 cm ²	5,6–6,6	max. 5
Odolnost proti opotřeбенí EN 102	mm ³	139–177	max. 110

Fyzikálně-mechanické vlastnosti taveného čediče

Tavený čedič vyniká zejména svojí vysokou ořezuvzdorností a dlouhodobou životností i v těch nejnáročnějších podmínkách. Jeho tvrdost je dle Mohsovy stupnice ohodnocena stupněm 8. Vysoké hodnoty pevnosti v tlaku se dají srovnat s přírodním kamenem. Další z výhod tohoto materiálu je jeho nulová nasákavost, mrazuvzdornost. [35]

Tepelná odolnost závisí na podmínkách okolního prostředí. Výrobky snesou náhlou změnu teploty do 100 °C, aniž by se porušily. Větší rozdíly teplot mají negativní vliv na pevnost materiálu. Při tepelném šoku nad 250 °C může dojít k porušení vzorku. [36]

Chemické vlastnosti taveného čediče

Za další typický znak čedičových prvků se považuje mimořádná odolnost v chemicky aktivních prostředích.

Zkoušky chemické odolnosti vůči silným anorganickým kyselinám ukázaly, že je tavený čedič za studena stálý. Bylo však prokázáno, že ve stejném kyselém prostředí, avšak za zvýšené teploty, došlo k výraznému snížení chemické odolnosti taveného čediče. Z tohoto důvodu se nedoporučuje používat jej za varu ve zmíněném prostředí (kromě koncentrované kyseliny sírové, která dle výsledků testů neměla na výrobek žádný vliv).

Tabulka 6 Výsledky zkoušek chemické odolnosti taveného čediče proti různým činitelům za varu (zkouška trvá 3 hod.) [36]

Prostředí	Koncentrace	Úbytek [g/m ³] 3 hod.
kyselina sírová	5 %	65,0
kyselina sírová	konc.	0
kyselina chlorovodíková	20 %	48,0
kyselina dusičná	35 %	3,4
kyselina dusičná	konc.	14,8
kyselina citronová	20 %	26,6
kyselina octová	20 %	10,2
kyselina mravenčí	konc.	8,6
uhličitan sodný	10 %	2,3

V případě alkalických prostředích či v roztocích soli nebyly za zvýšených teplot pozorovány žádné výrazné změny.

V chemických prostředích, kde působí více činitelů (různé agresivní chemikálie, tepelné šoky, atd.) je doporučeno před použitím taveného čediče provést laboratorní zkoušku. [36]

3.3.3 Vybrané výrobky z taveného čediče

Pro své unikátní vlastnosti naleznou výrobky z taveného bazaltu své uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. [36]

Odlitky je možné rozdělit do tří základních skupin:

- Dlažba
- Potrubí
- Kanalizační prvky [35]

Čedičová dlažba

Nejčastěji se odlévají do kovových kokil, avšak v případě výroby dlaždic nestandardních rozměrů se používají pískové formy. [31] Jejich velkou výhodou je hygienická nezávadnost a nulová nasákavost. Těší se velké oblibě pro svůj netradiční vzhled a hojně se využívají i v interiérech. Další využití naleznou v průmyslových provozech nebo v místech, která vyžadují úpravu povrchu proti skluzu.



Obrázek 11 Různé formáty čedičové dlažby s rozdílnou povrchovou úpravou [73]

Značnou nevýhodou je, že sklovitý charakter materiálu klade zvýšené nároky na pokládku. Dlaždice jsou tedy na rubové straně opatřeny drážkováním za účelem zvýšení adheze. K jejich ukládání se doporučuje používat polymercementové malty či epoxidové pryskyřice. [35]

Otěruvzdorné trouby

Kromě nejmenších průměrů se vyrábějí odstředivým litím. Takto vyráběné roury mají mnohem jednodušší strukturu a daleko větší pevnost proti přetlaku, než trouby lité statickým způsobem. Nedají se použít přímo jako potrubí, fungují jako ochranné vložky, které se zasouvají do ocelových trub. Jsou vhodné k pneumatické dopravě nejrůznějších abrazivních materiálů. Navíc existují speciální odlitky pro potrubní řady (T- a Y- kusy), které se vyrábí statickým litím do pískových forem. [31] [32]

Kanalizační prvky

Čedičové prvky nachází své upotřebení v kanalizačních stokách. Jsou vyráběny žlaby a tvarovky pro obklad stok. Použití těchto obkladů se u nás začalo zavádět již od roku 1952. Kombinací všech svých vlastností představují obkladové dílce z taveného čediče ideální materiál pro kanalizační systémy. Odolávají agresivním účinkům odpadních vod a tepelným šokům. Další výhodou přináší odolnosti vůči abrazi a dlouhá životnost materiálu. [36]



Obrázek 13 Čedičový obklad betonového prefabrikovaného dílu [72]



Obrázek 12 Příklad dílu s otěruvzdornou vložkou [72]

3.3.4 Současný stav v ČR i ve světě

Společnost EUTIT s.r.o. je v současné době jediným tuzemským výrobcem prvků odlévaných z čediče. Tato společnost rozpoznala potenciál ve spolupráci se zahraničními firmami a buduje síť odběratelů po celém světě. Celkově se podílí na jedné třetině celosvětové produkce litého čediče a zároveň je jediným světovým výrobcem interiérové čedičové dlažby. Roční produkce dosahuje v současnosti 16 500 tun výrobků. [31] [33]

PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL

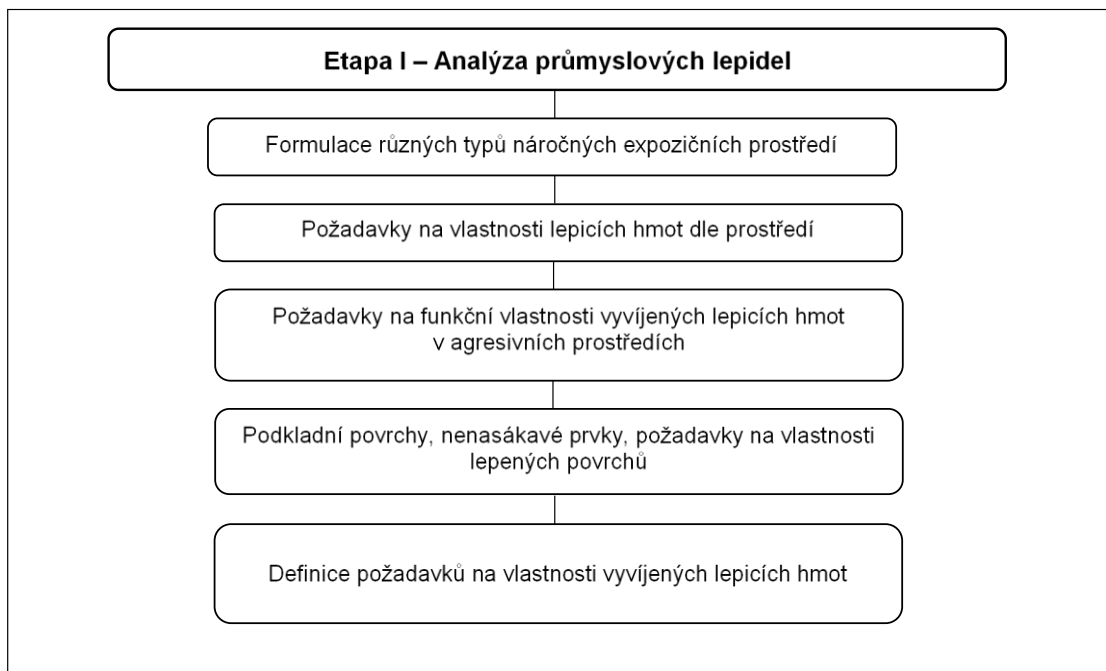
Hlavním cílem bakalářské práce je výzkum a vývoj lepicí hmoty odolné vůči působení nejrůznějších chemických látek a vůči působení vysokých teplot do 100 °C pro ukládání nenasákavých prvků.

Při návrhu receptur vyvíjených lepicích hmot bude hodnocena řada druhotných surovin kvůli jejich možnému využití jako náhrady plnivových složek nových materiálů. U navrhovaných materiálů bude rovněž požadována jejich odolnost vůči agresivnímu chemickému a do jisté míry i tepelnému namáhání.

Práce si klade za cíl vytvořit spojovací materiál, který se svými vlastnostmi dokáže co nejvíce přiblížit vysoce odolným nenasákavým prvkům používaným do namáhaných prostředí.

5 METODIKA PRÁCE

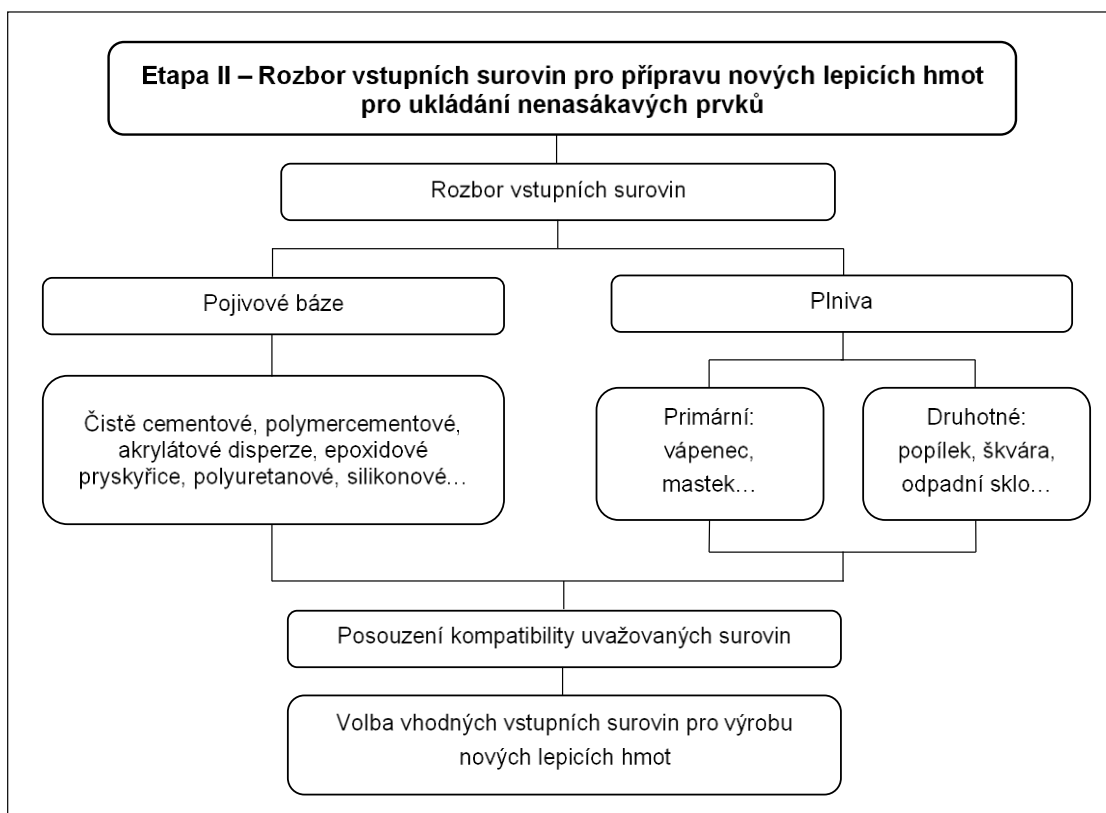
Etapa I: Analýza průmyslových lepidel



První etapa se bude věnovat náročným expozičním podmínkám aplikace nově vyvíjených materiálů. Důraz bude kladen zejména na odolnost lepidla vůči působení agresivních chemických látek a vysokých teplot. Budou rovněž formulovány požadavky na vlastnosti lepicích hmot pro nenasákavé prvky v daném prostředí.

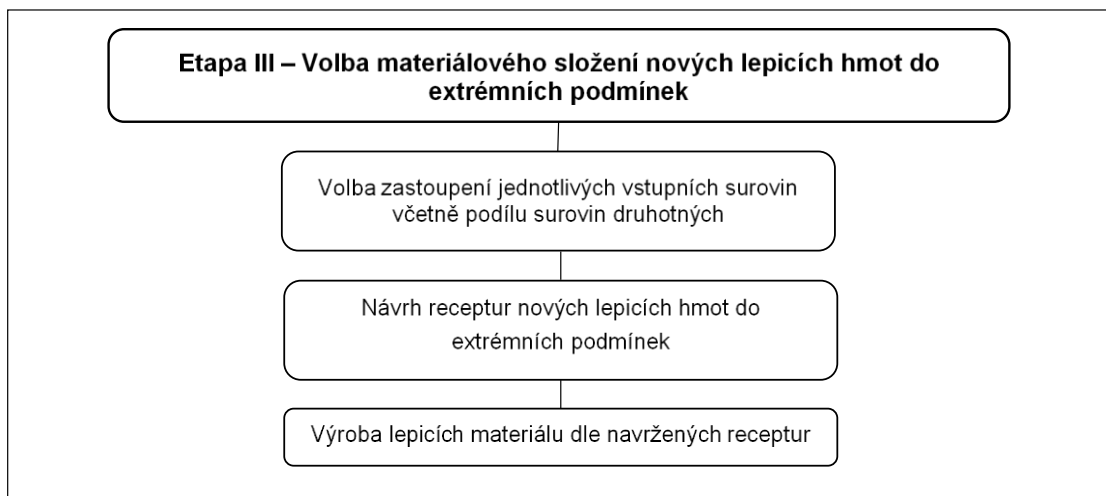
Dále budou specifikovány požadavky na funkční vlastnosti lepicích hmot a lepených povrchů, včetně jejich úpravy. Detailněji budou rozebrány lepené plochy (podkladový materiál a nenasákavé prvky).

Etapa II: Rozbor vstupních surovin pro přípravu nových lepicích hmot pro ukládání nenasákavých prvků



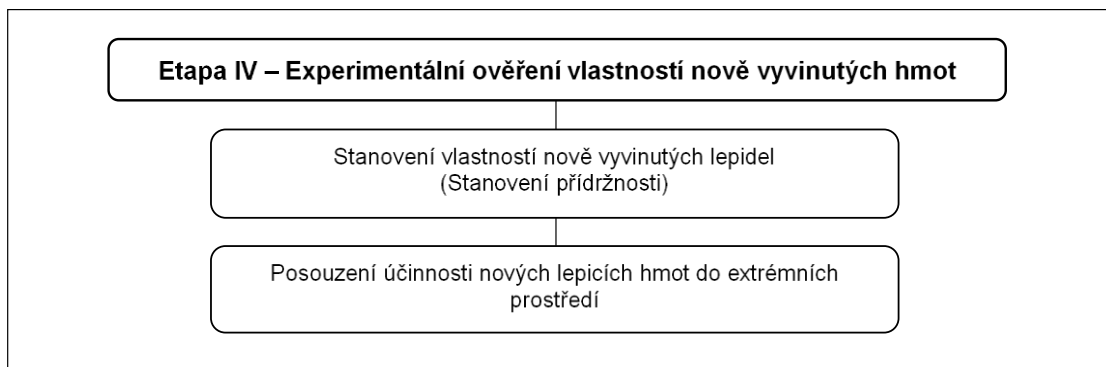
Cílem druhé etapy bude rozbor a výběr vhodných surovin pro přípravu nových lepicích hmot. Nejdříve bude provedena analýza pojiv a plniv pro přípravu nových lepicích hmot. Také budou zkoumány možnosti náhrady plniva vybranými druhotnými surovinami.

Etapa III: Volba materiálového složení nových lepicích hmot do extrémních podmínek



Třetí etapa bude zaměřena na návrh několika receptur nových lepicích hmot pro použití v prostředí s požadavky na vysokou chemickou a tepelnou odolnost. Na základě získaných poznatků zpracovaných v teoretické části práce bude proveden návrh vhodných vstupních surovin se zaměřením na možné využití druhotných surovin. Následně dojde k přípravě několika nových lepicích hmot dle navržených receptur.

Etapa IV: Experimentální ověření vlastností nově vyvinutých lepicích hmot



V poslední etapě bakalářské práce bude provedeno laboratorní testování parametrů připravených lepicích hmot v souladu s požadavky vyplývajícími z první etapy řešení. Na závěr bude provedeno podrobné zhodnocení dosažených výstupů.

6 ETAPA I: ANALÝZA PRŮMYSLOVÝCH LEPIDEL

Před návrhem lepicí hmoty je třeba specifikovat požadavky na vlastnosti lepicích hmot, požadavky na podkladové materiály, a také je nutné znát všechny faktory ovlivňující lepený spoj a specifikovat požadavky na materiál dle daného prostředí. Na konci této etapy budou porovnány průmyslová lepidla dostupná na trhu v ČR dle jejich materiálového složení a jejich použití.

6.1 Požadavky na vlastnosti lepicích hmot

Stěžejním parametrem je přídržnost lepicí hmoty k podkladovému materiálu. Dále se u spojovacích materiálů sleduje pevnost v tahu a tlaku. Kromě jiných mechanických vlastností se musí dbát na vlastnosti, které bude mít lepený spoj v provozu, především chemickou odolnost, odolnost vůči působení vysokých teplot a odolnost vůči působení vlhkosti. [3]

V první řadě je nutné rozlišovat technologické vlastnosti, tj. ty parametry maltoviny nebo lepidla, které ovlivňují vlastní provádění obkladových prací, a výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti již ztvrdlé maltoviny.

Požadavky na základní funkční vlastnosti:

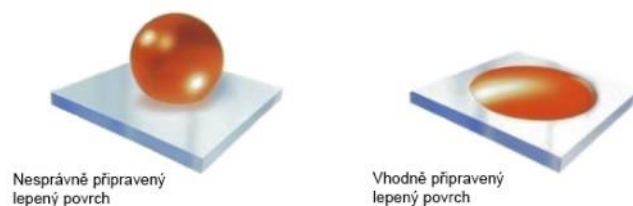
- Přídržnost lepicí hmoty v tahu 0,4 až 1,5 MPa
- Přídržnost lepicí hmoty ve smyku 1,0 až 2,0 MPa
- Pevnost v tlaku (pro podkladní vrstvy a lepicí hmoty silně namáhaných dlažeb) 12,5 až 20 MPa (garantovaná pevnost)
- Otevřený čas (doba) 10 až 30 minut
- Korekční doba do 15 minut
- Kontaktní plocha min. 60 % u obkladů v interiéru, 90 % u dlažeb v interiéru a 100 % u ostatních obkladových prvků v exteriéru

Technologické vlastnosti výrobce garantuje v rámci technické certifikace výrobku, avšak fyzikálně mechanické parametry (zejména přídržnost a pevnost v tlaku) je nutné ověřit kontrolními zkouškami v provozu. [6]

6.2 Požadavky na podkladové materiály

Je velice důležité nezapomínat na povrch podkladového materiálu. Správná povrchová úprava před samotným lepením představuje jednu z nejdůležitějších podmínek správného lepení. Jestliže je podklad nekvalitní, znečištěný nebo nesoudržný, nemá význam používat speciální lepicí hmoty. Aby byla zajištěna přilnavost mezi podkladem a lepicí hmotou, musí být zajištěna kvalita a úprava podkladu. Pro podklad platí, že

veškeré požadavky na přídržnost lepicí hmoty k podkladu nebo ke keramickému obkladu musí korespondovat s tahovými pevnostmi podkladu.



Obrázek 14 Porovnání smáčivosti lepicí hmoty u upraveného a neupraveného podkladu [2]

Důraz je také kladen na odstranění nečistot z lepeného povrchu, a to především odstranění mastnoty. V případě cementových a polymercementových lepicích materiálů lze přídržnost k podkladu zvýšit pomocí penetrace podkladu nebo tzv. adhezním můstkem. Dalším sledovaným parametrem je rovinnost podkladu. Mnoho zahraničních výzkumů prokázalo, že předúprava a struktura povrchu má významný vliv na celkovou kvalitu lepeného spoje. Vhodným podkladem pro obklad je objemově stabilizovaný, soudržný, rovný a suchý povrch. Zda je podklad dostatečně připravený může být posouzeno zkouškou smáčivosti. V případě, že je úprava povrchu podkladu dostačující, lepicí hmota se rozprostře, jak je znázorněno na obrázku 5. [3] [6] [37]

Tabulka 7 Specifikace jednotlivých druhů podkladů a vhodných spojovacích hmot [6]

Druh podkladu	Požadavky na podklad	Příprava podkladu vhodnou emulzí	Standardní hydraulická lepidla	Flexibilní hydraulická lepidla (PCC)	Speciální hydraulická lepidla	Disperzní lepidla (PC)	Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (PC)	Rychleschnoucí lepidla	Nutnost penetrace u PC lepidel
Dřevotřískové desky, dřevo	Min. tloušťka 19 mm, fixace ve vzdálenosti max. 400 mm					X	X		X
Staré obklady	Důkladně očistit a odmastit	X		X		X			
Beton	Starší než 28 dní	X		X				X	X
Pórobeton	Očistit od prachu	X		X				X	X
Cementové a sádrové omítky	Starší než 28 dní			X				X	
Sádrokartonové či sádrotřískové desky	Zatmelit mezery	X		X	X			X	
Umakart	Odmastit			X	X		X		X
Polystyrenové desky	Zajistit trvanlivost			X	X	X			
Hydroizolace	Vlhkost odpuzující materiál	X		X	X	X	X		
Speciálně do koupelen a sprch se sádrokartonovými, pórobetonovými podklady			X	X	X				X
Speciálně k lepení nenasákavých obkladových prvků		X		X		X	X		

6.3 Analýza expozičních prostředí

Na lepený spoj působí hned několik různých vlivů zatížení. Jedná se hlavně o:

- Tepelné namáhání
- Vliv vlhkosti
- Mrazové působení vody
- Působení chemických látek

6.3.1 Tepelné namáhání

Lepené spoje jsou zejména v průmyslových provozech opakovaně vystavovány šokovému působení extrémních teplot, z tohoto důvodu je nutné zvolit vhodnou lepicí hmotu.

Reakce materiálu na změnu teploty se vyjadřuje tzv. součinitelem teplotní roztažnosti α . Ten představuje délkovou změnu vzorku o délce 1 m při oteplení o 1K.

Při tepelném zatížení vzniká u vrstevnaté konstrukce, které je tvořena obkladem, lepicí hmotou a podkladem, rozdílný koeficient teplotní roztažnosti. To vede k rozdílným teplotám v jednotlivých vrstvách, a tím ke změně koeficientu teplotní roztažnosti. Důsledkem toho mohou vzniknout na styku vrstev smyková napětí a může dojít k oddělení obkladu od podkladu. [6]

O celkové nosnosti vrstvených systémů rozhoduje především použité lepidlo. Zahraniční výzkumy potvrdily, že spoje jsou velice náchylné na změnu okolní teploty. Příliš nízké i příliš vysoké teploty, včetně šokového působení, ovlivňují v negativním smyslu kvalitu lepeného spoje. [38] Z běžného sortimentu nabízených lepicích hmot patří k těm nejodolnějším lepidla polyuretanová a epoxidová. Jejich trvalá tepelná odolnost se pohybuje v závislosti na zvoleném druhu od 100 až 150 °C. U epoxidových pryskyřic závisí do značné míry na druhu použitých tvrdidel a na stupni vytvrzení. Na polymercementové malty mají zvýšené teploty vliv v závislosti na druhu přidaného polymeru. Tepelná odolnost lze zvýšit přidáním minerálních plniv. [3] [6] [7]

Zejména v případě polymerních lepidel představuje značný problém spolupůsobení vody a zvýšené teploty na lepený spoj. Kombinací těchto dvou činitelů dochází k celkovému urychlení reakcí, které vedou k chemické degradaci polymerů, a tím k oslabení spoje a následné separaci slepených materiálů. [39]

6.3.2 Vlhkost

Působení vlhkosti může mít na lepicí hmoty mnoho negativních vlivů. U cementových malt jsou to objemové změny. Uvádí se, že při jejich trvalém uložení ve vodě nabývají dlouhodobě cca 1 ‰ (1 mm/m). Naopak při procesu vysychání dochází ke smršťování, které může dosáhnout hodnot až 2-3 ‰ (2-3 mm/m). [6]

Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, dobrou odolností vůči vlhkosti a vodě se po vytvrzení vyznačují lepidla polyuretanová. Nevytvrzený materiál je však na vlhkost citlivý, a to díky tomu, že právě působením vzdušné vlhkosti či vlhkostí lepených povrchů dochází k zesíťování. [4] [3]

6.3.3 Mrazové působení vody

Další důležitým faktorem, který může ovlivnit kvalitu spoje mezi lepeným obkladem a podkladem, je zamrznutí vody v kapilárním systému spojovací malty. Při zamrznutí vody dojde ke zvětšení objemu vody o 9 % a vznikají expanzní napětí. Při opakování mrazových cyklů může nastat porušení spoje a ztráta soudržnosti. [6]

6.3.4 Chemické zatížení

Obkládací prvky a dlažby se vyznačují vysokou odolností proti chemickému zatížení, proto je při výběru lepicí hmoty třeba uvažovat s tím, že spojovací materiál bude vystaven stejnému prostředí. Z tohoto důvodu je nutné vybrat lepicí hmoty takového chemického složení, která odolají agresivním látkám. Nejlépe tomuto účelu vyhovují hmoty na polymerní bázi. Zejména pak epoxidové pryskyřice se vyznačují svou vysokou odolností vůči alkáliím a ředěným anorganickým i organickým kyselinám. [6] [17]

6.4 Požadavky na vlastnosti lepicích hmot dle prostředí

6.4.1 Extrémně namáhané průmyslové provozy

Do extrémně mechanicky, chemicky i vlhkostně namáhaných podmínek není doporučeno použití standardních hmot kategorie C1 a R1. Dnes jsou na trhu k dispozici nejrozumnější typy lepicích hmot třídy C2T a R2T, které nabízejí profesionální použití v náročných podmínkách použití podle doporučení výrobců. [40]

Cementová lepidla (C)

Standardně tvrdnoucí lepidla musí vždy splňovat požadavky uvedené v tabulce 1a. Tabulky 1c a 1d uvádějí volitelné charakteristiky, jejichž splnění může být požadováno pro specifické provozní podmínky a je na výrobcu, zda je splní a deklaruje. [41]

Tabulka 8 Požadavky na cementová lepidla (C) [41]

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY		
1 a	STANDARDNĚ TVRDNOUcí LEpidLA	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Počáteční tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ MPa}$	8.2 z EN 1348:2007

Tahová přídržnost po ponoření do vody	≥ 0,5 MPa	8.3 z EN 1348:2007
Tahová přídržnost po tepelném stárnutí	≥ 0,5 MPa	8.4 z EN 1348:2007
Tahová přídržnost po cyklech zmrazení-rozmrazení	≥ 0,5 MPa	8.5 z EN 1348:2007
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	≥ 0,5 MPa ne méně než po 20 min	EN 1346
VOLITELNÉ CHARAKTERISTIKY		
1 c	ZVLÁŠTNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Skluz	≤ 0,5 mm	EN 1380
Prodloužená doba zavadnutí: tahová přídržnost	≥ 0,5 MPa ne méně než po 30 min	EN 1346
Deformovatelné lepidlo: průhyb	≥ 2,5 mm a < 5 mm	EN 12002
Vysoce deformovatelné lepidlo: průhyb	≥ 5 mm	EN 12002
1 d	DOPLŇKOVÉ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Vysoká počáteční tahová přídržnost	≥ 1 MPa	8.2 z EN 1348:2007
Vysoká tahová přídržnost po ponoření do vody	≥ 1 MPa	8.3 z EN 1348:2007
Vysoká tahová přídržnost po tepelném stárnutí	≥ 1 MPa	8.4 z EN 1348:2007
Vysoká tahová přídržnost po cyklech zmrazení-rozmrazení	≥ 1 MPa	8.5 z EN 1348:2007

Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R)

Všechna lepidla na bázi reaktivních pryskyřic musí splňovat požadavky uvedené v tabulce 3a. Tabulky 3b a 3c uvádějí volitelné charakteristiky, jejichž splnění může být požadováno pro specifické podmínky.

Pokud jde o chemickou odolnost, neuvádí se ani mezní hodnota či chemické činidlo. Zkušební médium musí být tedy média, kterým mají být chemicky odolné materiály vystaveny v praxi, rovněž zkušební podmínky (teplota, koncentrace atd.) musí co nejlépe napodobit předpokládané provozní a expoziční podmínky. [41]

Tabulka 9 Požadavky na lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R) [41]

3 a	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení

Počáteční smyková přídržnost	≥ 2 MPa	7.3 EN 12003:2008
Smyková přídržnost po ponoření do vody	≥ 2 MPa	7.4 EN 12003:2008
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa ne méně než po 20 min	EN 1346
VOLITELNÉ CHARAKTERISTIKY		
3 b	ZVÁŠTNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Skluz	$\leq 0,5$ mm	EN 1308
3 c	DOPLŇKOVÉ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Smyková přídržnost po tepelném šoku	≥ 2 MPa	7.5 EN 12003:2008

6.4.2 Kanalizace

Spojovací materiály užívané v oblasti kanalizací jsou vystavovány působení hned několika činitelů, které ovlivňují kvalitu lepeného spoje. Městské standardy vodárenských a kanalizačních zařízení na území hl. m. Prahy stanovují, že k osazení nenasákavých čedičových prvků do konstrukce stok lze použít výhradně maltové směsi s minimální hodnotou parametru přídržnosti smykovou zkouškou (dle ČSN EN 1324) 1,5 MPa. Tuto podmínku splňují např. směsi: EUFIX S (Redrock Construction s.r.o.), Ergelit Kombina KS 1 (Hermes Technologie), Permapatch TH 35 (Fosroc). [42]

6.5 Vybrané produkty pro lepení nenasákavých povrchů dostupné na českém trhu

6.5.1 Cementová lepidla

▪ EUFIX S - C2T (Redrock Construction s.r.o.)

Eufix S je malta určená speciálně pro bezdutinové lepení, spárování a ukládání prvků z taveného čediče na betonové konstrukce (podlahové povrchy, stěny, trouby, šachty apod.) i do prostředí, které je trvale zatížené vodou.

Materiál je možné použít i pro lokální opravu betonového podkladu. Eufix S je hotová prefabrikovaná směs kameniva, anorganických plniv, portlandského cementu a speciálních přísad.

Smícháním se záměsovou vodou v určeném poměru vznikne speciální lepicí a spárovací malta dobře zpracovatelná zednickým způsobem, která se fyzikálně a chemicky vytvrzuje.

Výhody:

- Dobrá přídržnost k prvkům z taveného čediče, betonu i k oceli
- Rychlé nárůsty pevnosti
- Dobrá mrazuvzdornost
- Dobrá vodonepropustnost
- Odolnost proti chemickým vlivům - solím
- Dobrá odolnost proti obrušování
- Dobrá zpracovatelnost zednickým způsobem [43]

Tabulka 10 Technické parametry Eufix S [43]

ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE	
Pevnost v tlaku po 3 hodinách po 1 dni po 7 dnech po 28 dnech	> 7 MPa > 20 MPa > 40 MPa > 55 MPa
Pevnost tahu za ohybu po 3 hodinách po 1 dni po 7 dnech po 28 dnech	> 2 MPa > 5 MPa > 6 MPa > 10 MPa
Přídržnost k betonu	> 2,0 MPa
Přídržnost k prvkům z taveného čediče	> 1,5 MPa
Modul pružnosti	> 27 GPa
Koeficient tepelné roztažnosti	$11 \times 10^{-6} \cdot K^{-1}$
Doba zpracovatelnosti	cca 50 min
Mrazuvzdornost	> 50 cyklů
Vodotěsnost (při tl. 10mm)	> 3 Bar
Odolnost proti CHLR (ČSN 731326, metoda C)	Odpad po 125 cyklech < 100 g/m ²

▪ **Ergelit Kombina KS 2 (Hermes Technologie)**

Maltové směsi ERGELIT používané při technologii společnosti HERMES jsou cementem vázané, organickými a anorganickými přísadami zušlechťené, jednokomponentní malty zajišťující ochranu proti korozi. Tyto materiály se vyznačují objemovou stálostí, vysokou počáteční i výslednou pevností, odolností proti korozi způsobené splaškovými odpadními vodami s pH 3-11, odolností proti působení vysoce agresivního chemického prostředí dle EN 206 (expoziční třída XA3).

Výhody:

- Krátkodobě zatížitelná vodou již po 4 hodinách při teplotě okolo 10 °C
- Zpracování ručně nebo strojně, maltu lze čerpat
- Vysoká odolnost proti oděru
- Vysoce alkalická

- Velmi dobrá přídržnost (v závislosti na podkladu)
- Vysoká lepivost (v čerstvém stavu)
- Vodonepropustná
- Tixotropní
- Ztráty odrazem cca. 3% při dobrých podmínkách nanášení metodou mokrého stříkání
- Odolná vůči působení mrazu a soli
- Odolná proti síranm
- Odolná vůči působení vysokých teplot: krátkodobě 100 °C, dlouhodobě 90 °C [44]

▪ **Permapatch RAPID (Redrock Construction s.r.o.)**

Malta Permapatch RAPID se dodává jako hotová suchá směs, která se míchá s vodou v určeném poměru. Materiál je na bázi portlandského cementu, tříděného kameniva a přísad.

Permapatch RAPID je malta vhodná pro opravy betonových a železobetonových konstrukcí, kanalizačních řadů a betonových konstrukcí trvale zatížených vodou v tloušťce od 5 do 40 mm. Používá se jak pro opravu betonu, tak i pro pokládku čedičové dlažby a tvarovek.

Výhody:

- Malta Permapatch RAPID má dobrou přídržnost k betonu i oceli.
- Velmi rychlý nárůst pevnosti.
- Lze zatížit vodou již po 3 hodinách.
- Dobrá mrazuvzdornost.
- Dobrá vodotěsnost.
- Odolnost proti chemickým rozmrazovacím prostředkům.
- Zvýšená odolnost proti síranovým vodám.
- Dobrá odolnost proti obrušování.
- Je nesmršlivá, mírně expanzivní (cca 0,1%).
- Dobrá zpracovatelnost zednickým způsobem.
- Možno aplikovat na vlhké povrchy. [45]

Tabulka 11 Technické parametry Permapatch RAPID [45]

ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE	
Objemová hmotnost sypná čerstvé malty zatuhlé malty	cca 1500 kg/m ³ cca 2200 kg/m ³ cca 2100 kg/m ³
Pevnost v tlaku po 1 hodině po 24 hodinách po 7 dnech po 28 dnech	> 6 MPa > 30 MPa > 55 MPa > 65 MPa
Pevnost tahu za ohybu po 1 hodině	> 2 MPa

po 24 hodinách po 7 dnech po 28 dnech	> 5 MPa > 7 MPa > 10 MPa
Přidržnost k betonu	> 1,5 MPa
Přidržnost k prvkům z taveného čediče	> 1,0 MPa
Modul pružnosti	> 20 GPa
Vodotěsnost (tl. 15 mm)	> 4 bar
Odolnost proti chemickým rozmrazovacím prostředkům (dle TKP MDS, kap. 18 metoda C)	Odpad < 60 g/m ² po 125 cyklech

6.5.2 Lepidla na bázi reakčních pryskyřic

▪ Redfix EP - R2T

Redfix EP je dvousložková bezrozpuštědlová lepicí malta na bázi epoxidových pryskyřic a křemičitých plniv. Redfix EP je tixotropní dvousložkové lepidlo pro lepení keramický nebo kameninových obkladových prvků, stavebních betonových prvků, prefabrikátů, prvků z taveného čediče, ocelových prvků k betonu apod. Lze použít zároveň jako tmelící maltu na opravu hran, svislých a převislých ploch, opravu trhlin, pro vytvoření obrusných ploch na betonových konstrukcích apod. [46]

Výhody:

- Pro lepení většiny stavebních materiálů - beton, kámen, tvarovky z taveného čediče, keramika, ocel, železo, hliník, dřevo, sklo.
- Vysoká mechanická pevnost.
- Vysoká odolnost proti abrazi a rázům.
- Chemicky odolný.
- Tixotropní, lze aplikovat na svislých a převislých plochách.
- Jednoduchá aplikace.
- Jednotlivé komponenty jsou barevně odlišeny. [46]

Tabulka 12 Technické parametry Redfix EP [46]

SLOŽKY		
	Složka A	Složka B
Materiálová báze	Epoxidová pryskyřice a křemičitá plniva	Tužidlo a křemičitá plniva
Konzistence	Pasta	Pasta
Hustota (při 20 °C)	1700 kg/m ³	1600 kg/m ³
Barva	Světle béžová	Černá
SMĚS		
Poměr míchání A : B	2 : 1	
Konzistence	Tixotropní pasta	
Hustota (při 20 °C)	1650 kg/m ³	

Pevnost v tlaku	70 MPa
E-modul	5 700 MPa
Přidržnost	> 4,5 MPa (porušení betonu)
Zpracovatelnost při 20 °C při 10 °C	cca 30 min cca 45 min
CHEMICKÁ ODOLNOST	
Louh sodný, topný olej, močůvka	odolný v trvalém kontaktu
Benzín natural, toluen, kyselina solná, kyselina sírová, etanol	odolný dočasně

6.6 Shrnutí etapy I

V první etapě byly shrnuty veškeré požadavky na všechny v praxi používané lepicí hmoty.

Na základě druhu lepeného materiálu bylo zjištěno, že pro lepení nenasákavých obkladových prvků jsou nejvíce vhodná flexibilní cementová lepidla, disperzní lepidla a lepidla na bázi reaktivních pryskyřic. Disperzní lepidla byla následně vyloučena po podrobné analýze expozičních prostředí, kde bylo cílem vyhodnotit, které z druhů lepidel se nejvíce hodí do provozů vyžadujících vyšší tepelnou a chemickou odolnost. Jako nejvhodnější pro chemicky namáhané prostředí se jeví použití lepidel na bázi reakčních pryskyřic. Kromě jejich dalších nesporných výhod, jako je minimální smršťivost, která přispívá k lepší adhezi, či odolnost vůči působení vody, je třeba brát v potaz i některá omezení, a to zejména v oblasti působení vysokých teplot. Tepelnému namáhání odolávají epoxidové pryskyřice v závislosti na druhu použitých tvrdidel a stupni vytvrzení. U polymercementových malt hraje zásadní roli druh přidaného polymeru, který má vliv na výsledné vlastnosti modifikovaných malt. Vzhledem k tomu, že každý ze zmíněných druhů lepidel má své výhody, které je činí vhodnými pro ukládání nenasákavých prvků v extrémních podmínkách, je nutno prozkoumat, ověřit a porovnat jejich vlastnosti v dalších etapách této práce.

Následně byly specifikovány požadavky kladené na lepicí hmoty používané v extrémních podmínkách (např. kanalizace). Bylo zjištěno, že obecně se pro náročnější aplikace doporučuje použít hmoty třídy C2T a R2T. Lepidla určená do kanalizací se řídí tzv. Městskými standardy daného města. Nejsledovanějším parametrem je smyková přidržnost hmoty k podkladu. Problematiku lepidel v současné době řeší česká technická norma *ČSN EN 12004+A1 Lepidla pro obkladové prvky – Požadavky, posuzování shody, klasifikace a označování*. Kromě základních požadavků na lepicí hmoty byly zmíněny i volitelné charakteristiky pro specifické provozní podmínky.

V závěru etapy byl proveden průzkum současně nabízených produktů patřících do zmíněných tříd. Bylo zjištěno, že je nabízena řada výrobků určených

do průmyslových provozů s extrémním zatížením. Po bližším prozkoumání technických parametrů zmíněných produktů však není zřejmé, jakou chemickou zátěž lepený spoj vydrží. Pouze u lepidla na bázi epoxidových pryskyřic je zmíněna míra odolnosti vůči některým látkám. Ani v případě tepelného namáhání výrobci neudávají úplné informace.

Následující tabulka zahrnuje veškeré informace zjištěné v rámci první etapy a definuje požadavky na vyvíjené lepicí hmoty:

Tabulka 13 Požadavky na nově vyvíjené lepicí hmoty na bázi cementu a na polymerní bázi

POŽADAVKY NA NOVĚ VYVÍJENÁ CEMENTOVÁ LEPIDLA	
Charakteristika	Požadavek
Vysoká počáteční tahová přídržnost	≥ 1 MPa
Vysoká tahová přídržnost po tepelném stárnutí	≥ 1 MPa
Tahová přídržnost po ponoření do vody	$\geq 0,5$ MPa
Tahová přídržnost po cyklech zmrazení-rozmrazení	$\geq 0,5$ MPa
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa ne méně než po 20 min
Skluz	$\leq 0,5$ mm
POŽADAVKY NA NOVĚ VYVÍJENÁ LEPIDLA NA BÁZI REAKČNÍCH PRYSKYŘIC	
Charakteristika	Požadavek
Počáteční smyková přídržnost	$\geq 2,0$ MPa
Smyková přídržnost po tepelném šoku	≥ 2 MPa
Smyková přídržnost po ponoření do vody	≥ 2 MPa
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa ne méně než po 20 min
Skluz	$\leq 0,5$ mm

7 ETAPA II: ROZBOR SUROVIN PRO NAVRHOVANÉ LEPICÍ HMOTY

V následující části bude pozornost soustředěna na potenciálně vhodné vstupní suroviny a jejich vlastnosti. Kromě primárních surovin budou přiblíženy vybrané suroviny druhotné. Na závěr bude provedeno kompletní posouzení a vyhodnocení získaných informací.

7.1 Pojiva

V případě použití cementového pojiva je nutné vybrat vhodný druh cementu. S ohledem na splnění požadavků stanovených v předchozí etapě musí být zvolen cement používaný pro lepicí malty s označením C2T. U těchto malt se běžně užívá jako výchozí pojivová složka portlandský cement CEM I 42,5 R, případně CEM I 52,5 R, který je modifikován polymerní složkou ve formě redispergovatelných polymerů. Portlandský cement je sice dražší než ostatní druhy cementu, ale vykazuje vyšší pevnosti.

Nelze opomenout také cementy hlinitanové. Jak již bylo nastíněno v podkapitole 2.1 *Pojiva lepicích hmot*, tyto cementy se vyznačují odolností vůči extrémním podmínkám a odolností vůči účinkům agresivních vod, zejména síranových. Z tohoto důvodu připadá v úvahu příprava lepicí hmoty na bázi portlandského cementu v kombinaci s přídavkem hlinitanového cementu.

Další variantou pro splnění stanovených požadavků je použití pojiva z reaktivních pryskyřic. S ohledem na zjištěné poznatky z předchozích kapitol se nabízí použít polymerní pojivovou složku na bázi epoxidové, a to především díky odolnosti epoxidových pryskyřic vůči působení agresivních látek. Nelze vyloučit ani použití polyuretanového pojiva pro jeho mimořádnou adhezi, kterou toto pojivo poskytuje. Zde však hlavní problém hraje příliš vysoká cena. Další možností je využití silikonových pryskyřic, které jsou charakteristické svou stálostí vlastností v širokém rozmezí teplot.

Po průzkumu výrobků dostupných na českém trhu bylo zjištěno, že nejpoužívanější jsou lepicí malty na polymercementové bázi. Důvodem může být zejména jejich výrazně nižší cena oproti reakčním lepidlům.

S ohledem na výše zmíněné postřehy se jako nejvhodnější jeví použití cementového pojiva modifikovaného polymerem.

7.2 Plniva

7.2.1 Primární

- **Křemičitý písek**

Křemičitany jsou sloučeniny oxidu křemičitého. Tyto minerály tvoří největší třídu nerostů a jsou nejdůležitější součástí zemské kůry. Důležité křemičitany jsou živce, slídy, granáty, amfiboly a pyroxeny (téměř všechny horninotvorné nerosty). V přírodě jsou rozšířené jako součásti hornin. Křemičitany mají velmi složité složení a strukturu. Mají nekovový vzhled, jsou zbarvené, v tenkých lupíncích průhledné. Vznikají z magmatu, z horkých roztoků nebo zvětráváním jiných křemičitanů (kaolinit). [23]

Kromě nízkého koeficientu tepelné roztažnosti se křemičitany vyznačují vysokou tuhostí, čímž se zvyšuje modul pružnosti. Většinou jsou lehké, tvrdé a těžko tavitelné. V kyselinách se rozkládají málo nebo vůbec. V polymerních látkách se kromě přírodních částic oxidu křemičitého využívají také syntetické. V praxi se obvykle do směsí určených pro kladení dlažeb a obkladů používá křemičitý písek frakce 0-4 mm. [23] [47]

- **Vápenec**

Vápenec je vzhledem ke své dostupnosti jedním z nejčastěji používaných plniv. Z pohledu objemu plniv do polymerních látek je hojně využíván nejen z důvodu nízké ceny, ale také díky dobrému rozptýlení v polymeru a nízkému obsahu vlhkosti. [48] Zároveň má mírné účinky na mechanické vlastnosti. V závislosti na polymeru může být považován za multifunkční výplň s různými specifickými účinky na reologii, zpracování a morfologii. [49]

- **Mastek**

Mezi často používaná plniva se řadí mastek. Jedná se o nerost složený z hydratovaného křemičitanu hořečnatého. Mastek je nejměkčí minerál na Mohsově stupnici tvrdosti, díky čemuž je málo abrazivní. Také je poměrně kluzký a může být používán jako mazadlo. Materiály plněné maskem mají nízkou propustnost pro plyny. Jeho přidání do směsí příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti a to zejména tuhost, odpor proti tečení a smrštění. V případě, že je tvar částic deskovitý s vysokým poměrem stran, jsou mechanické vlastnosti umocněny. Nežádoucí účinky zahrnují snížení tažnosti materiálu. Kombinací masku a uhličitanu vápenatého v jedné směsi se získají některé výhody obou plniv. Například směs masku deskovitého tvaru částic s uhličitanem vápenatým přináší vysokou tuhost materiálu. [23] [47]

- **Slída**

Slídy jsou důležitými horninotvornými minerály vyvřelých a přeměněných hornin. Jedná se o hlinitokřemičitany s vrstevnatou krystalovou strukturou, které jsou blízkce příbuzné např. s mastkem. Jejich předností je vysoká chemická a tepelná stabilita. [50]

Kromě své primární funkce, zlepšení mechanických vlastností plněných polymerů, se slída používá ke snížení propustnosti a zlepšení rozměrové stability. Má nízký koeficient tepelné roztažnosti, nízký koeficient tření a má dobrou chemickou odolnost. Nevýhodou materiálů plněného slídou je jejich nízká odolnost proti nárazu. [23]

7.2.2 Druhotné suroviny vhodné jako plniva

V současné době existuje ve všech průmyslových odvětvích snaha o snížení nákladů na výrobu při zachování kvality vyráběných produktů. Jako nejvhodnější řešení z hlediska ekonomického a ekologického se jeví použití plniva z druhotných surovin. Jedná se o materiály získané během výroby nebo jiné lidské činnosti, které jsou produkovány ve velkém množství a problematicky skladovány či likvidovány bez jejich dalšího využití. Jejich použitím ve stavebnictví docílíme zužitkování druhotných surovin a omezení jejich hromadění s ohledem na životní prostředí. Při výběru surovin je však nutné také zohlednit dostupnost tuzemských zdrojů. [51]

- **Popílek**

Popílek je nejjemnější frakce zbytku ze spalování uhlí o zrnitosti 0-1 mm, který je zachycován v odlučovačích. Jde o heterogenní materiál, jehož chemické, fyzikální a technologické vlastnosti jsou závislé na kvalitě spalovaného uhlí (obsah hořlaviny, popelovin a vody) a technologii spalovacího procesu, které se liší zejména teplotou spalování. Dle technologie spalovacího procesu rozlišujeme popílký, které vznikají při vysokoteplotním spalování v klasických kotlích a popílký získané při fluidním spalování. [52]



Obrázek 15 Popílek [53]

Charakteristické chemické složení popílků vzniklých spalováním černého i hnědého uhlí zahrnuje kolem 50 % SiO_2 , 25-30 % Al_2O_3 a od 3-8 % FeO . [54]

Fluidní popílký se vyznačují vyšším obsahem CaO , jelikož je do spalovacího procesu přidáván vápenec z důvodu odsíření. U fluidních popílků se výrazněji projevuje kolísání vlastností, zejména chemického složení, měrné hmotnosti a ostatních parametrů, způsobené nestabilitou spalovacího procesu a variabilitou vlastností vstupních komponentů. [55] [56]

V tuzemsku jsou k dispozici oba druhy popílků, a to zejména z hnědého uhlí, které se v tepelných elektrárnách používá nejvíce. Popílek je dodáván z většiny našich tepelných elektráren, jmenovitě se jedná např. o Dětmarovice, Hodonín, Opatovice, Chvaletice, Ledvice, Mělník či Tušimice. Jenom v České republice vzniká ze spalování uhlí cca 10 mil. tun popílku ročně. [54]

Z hlediska vlastností popílků je jistě důležité věnovat se i vlivu místa odběru na fyzikálně mechanické a fyzikálně chemické vlastnosti produktů. Odběr popílku bývá rozdělen do více sekcí - v první sekci je odebráno cca 85 % celkové produkce popílku, v sekcích dalších cca 15 %. V první sekci se zachytí největší částice popílku, v poslední sekci jsou zachyceny nejjemnější prachové částice. Díky selektivním odběrům je možné výrazně ovlivnit vlastnosti výsledných materiálů, ať už se jedná o použití do cementu, betonu, stabilizátu, keramiky nebo spékaného kameniva. [57] [58]

Zkušenosti ukázaly, že popílek negativně ovlivňuje barvu povrchu. [59] Vzhledem k tomu, že jej nelze barvit, je jeho využití možné pouze v případech, kde není kladen důraz na estetické vlastnosti. V našem případě je tedy myslitelné jeho využití jako plniva do lepicích hmot určených především do kanalizačních stok k ukládání čedičových prvků.

▪ Škvára

Škváry vznikají při spalovacím procesu různých druhů kamenného a hnědého uhlí, hořlavých břídlíc a jiných pevných paliv a představují zpevnělé, nikoliv však úplně roztavené minerální zbytky uvedených pevných paliv. Mohou vznikat na roštech nebo i jiných topeništích. Použitelnost a kvalitu škvár ovlivňuje celá řada faktorů. Především pak druh výchozího paliva a množství a stav jeho zbytků ve škváře. [60]



Obrázek 16 Škvára [61]

Řada publikací upozorňuje na reakci kovového hliníku ze škváry v alkalickém prostředí, která způsobuje vývin plynného vodíku, což negativně ovlivňuje pevnost cementové malty. Řešení představuje úprava škváry roztokem NaOH, ovšem nejúčinnější je dlouhodobé odležení škváry po dobu alespoň šesti měsíců. To má za následek omezení expanze materiálu vodíkem a hydratace CaO a MgO, k čemuž dochází při použití čerstvé škváry. [60] [62]

- **Odpad z praní drceného vápence**

Tento odpad je získáván z vápence ve fázi procesu praní a sušení podrcené suroviny. Vzhledem k tomu, že vzniklý odpad má vlhkost okolo 8 %, je nutné jej před použitím dosušit. [63]

Hrubší typ odpadu z praní drceného vápence obsahuje zrna o velikosti 0,063 až 0,25 mm, což je frakce, která bývá běžně používána u lepicích hmot. [9]

- **Odpadní sklo**

Sklo je obecně pevnou amorfni látkou, která obvykle vzniká tuhnutím taveniny bez krystalizace, přičemž ztuhnutí je způsobeno plynulým růstem viskozity na tak vysokou hodnotu, že se materiál jeví pevným. [12]

Recyklace skla se během posledních let stala velmi diskutovanou tématikou. Jedná se o proces, kdy sklo jako konečný produkt vstupuje znovu po použití do výroby jako alternativní surovina, aniž by ztratilo jakoukoli vlastnost, která by snížila jeho užitnou hodnotu. Velkou výhodou je, že oproti řadě jiných materiálů nemusí být před znovupoužitím nijak náročně upravováno. Skleněné střepy jsou vsypány do speciálně připraveného drtiče, který je následně zpracovává na skleněný prášek. Takto získaný skleněný prášek je považován za relativně levné a ekologické plnivo. Kromě těchto aspektů, nabízí lepší chemickou odolnost, odolnost proti oděru a větší průhlednost než např. vápenec a další běžná plniva. [64] [65] [47]



Obrázek 17 Skleněné střepy určené k recyklaci [65]

▪ Křemičité úlety

Křemičité úlety, též mikrosilika, vznikají jako vedlejší produkt při výrobě elementárního křemíku, křemičitých nebo ferrokřemičitých slitin. Jedná se o velmi jemný šedý prášek složený především z amorfního oxidu křemičitého, jehož obsah se zpravidla pohybuje v rozmezí 80 až 98 %. Při výrobě ferrosilicia jsou přítomny často i jiné prvky, především železo. Částice jsou sférické, vyznačují se průměrem nejčastěji okolo 0,15 μm , přičemž často tvoří shluky. Důležitými vlastnostmi, které pozitivně přispívají ke zlepšení chemické i mechanické odolnosti malt, jsou především pucolánová aktivita a jemnost těchto prášků. [66]



Obrázek 18 Křemičité úlety [67]

7.3 Posouzení kompatibility uvažovaných vstupních surovin

Aby byla zaručena funkčnost lepicí hmoty, musí být posouzena vzájemná kompatibilita jednotlivých vstupních surovin. Problém spočívá v rozdílné chemické povaze plniv a pojiv. Určitým řešením je vhodná úprava částic plniva, která vede ke zlepšení kompatibility materiálů.

Jedním z problémů, který nastává v případě použití cementového pojiva a skelného recyklátu jako plniva, je riziko vzniku alkalicko-křemičité reakce mezi alkáliemi z cementu a oxidem křemičitým z odpadního skla. Tato expanzivní reakce může zapříčinit značně velké problémy způsobené postupným vznikem trhlin, což může být extrémně škodlivé pro trvanlivost spoje. Nicméně tomuto efektu se dá zabránit v případě vhodné úpravy skelného recyklátu. Odpadní sklo musí být jemně mleté pod 0,063 mm. [68]

V případě ostatních uvažovaných druhotných surovin není třeba žádných speciálních předúprav. Případná inkompatibilita vybraných surovin bude zjištěna během experimentálního ověření vlastností během poslední etapy této práce.

7.4 Shrnutí etapy II

Tato část bakalářské práce popsala charakter vybraných vstupních surovin pro nově vyvíjené lepicí hmoty.

Na základě poznatků získaných z etapy I bylo zhodnoceno možné využití pojiva na silikátové bázi a na bázi reaktivních pryskyřic. Vzhledem k vysoké ceně čistě polymerních materiálů se jeví jako nejvhodnější použití cementového modifikovaného polymery. V tomto případě se nabízí zvolit portlandský cement. Za úvahu stojí jeho použití v kombinaci s cementem hlinitanovým, který se ukázal jako vysoce odolný materiál vůči negativním vlivům okolního prostředí. Navíc se vyznačuje rychlým náběhem pevností.

Dále byly s cílem dosažení požadovaných fyzikálně-mechanických vlastností vytipovány vhodné vstupní suroviny používané jako plniva. Kromě primárních plniv byla tato část zaměřena na rozbor v tuzemsku dostupných plniv z druhotných surovin. Po analýze se ukázalo, že do nově vyvíjených hmot je reálné použít všechny uvedené suroviny. U skelného recyklátu však bude nutná předúprava za účelem lepší interakce mezi cementovou pojivovou složkou a skleněného plniva a rovněž kvůli zamezení rizika případné alkalicko-křemičité reakce.

8 ETAPA III: VOLBA MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NOVÝCH LEPICÍCH HMOT

Následující etapa se zabývá volbou vhodných vstupních druhotných surovin. Dále budou předloženy návrhy receptur lepicích hmot. V úvahu bude bráno polymercementové i čistě polymerní pojivo. S ohledem na zjištěné poznatky v předchozí kapitole budou základní receptury modifikovány a bude vytvořeno několik variant materiálového složení s rozdílným typem plnivové složky.

8.1 Optimalizace a výběr druhotných surovin

Za účelem volby druhotných surovin s nejlepšími vlastnostmi pro další testování je nutné provést optimalizaci jejich vlastností.

Pro potřeby optimalizačního výpočtu byl volen výpočet metodou párového srovnávání hodnot. Tato metoda bývá nazývána Fullerovou metodou, protože při její aplikaci jsou určeny váhy kritérií pomocí tzv. Fullerova trojúhelníku. Princip párového srovnávání spočívá v porovnávání dvou kritérií a následném výpočtu váhy jednotlivých kritérií. [69]

Jako kritéria byla zvolena objemová hmotnost, zrnitost, případná nutnost předúpravy, cena a zpracovatelnost druhotných surovin. Dalším krokem bylo stanovení váhy jednotlivých kritérií.

Tabulka 14 Preference jednotlivých kritérií

Vlastnost	PREFERENCE				
	Objemová hmotnost	Max. velikost zrn	Nutnost předúpravy	Cena	Zpracovatelnost
Objemová hmotnost	1,00	0,75	1,25	0,75	0,75
Max. velikost zrn	1,33	1,00	1,00	1,00	0,75
Nutnost předúpravy	0,80	1,00	1,00	1,00	0,75
Cena	1,33	1,00	1,00	1,00	1,00
Zpracovatelnost	1,33	1,33	1,33	1,00	1,00

Každá vlastnost, která je vyjádřena kritériem, má rozdílnou váhu. Podle těchto kritérií dochází k ohodnocení dané vlastnosti a k upřednostnění jedné vlastnosti před druhou. Poté dojde k vyčíslení jednotlivých kritérií.

Tabulka 15 Vyčíslení jednotlivých kritérií

Vlastnost	VYČÍSLENÍ DANÝCH KRITÉRIÍ				
	Křemičité úlety	Odpad z praní vápence	Škvára	Odpadní sklo	Popílek
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2200	2690	2500	2450	2300
Max. velikost zrn [mm]	0,001	0,1	1,0	8,0	1,0
Nutnost předúpravy	0	1	0	1	0
Cena [Kč/kg]	0,91	0,01	0,01	0,02	0,07
Zpracovatelnost	5	2	5	4	5

Následně je třeba rozhodnout, zda je dané kritérium nízké nebo vysoké. Rozhodovací matice je transformována na výpočtovou a vypočítána. Výsledkem jsou procentuální preference pro každou druhotnou surovinu. Jako nejlepší druhotnou surovinu lze označit tu, která se svou procentuální preferencí nejvíce blíží k 100 %.

Tabulka 16 Výsledné hodnoty preference jednotlivých druhotných surovin

Vlastnost	VÝSLEDEK [%]				
	Křemičité úlety	Odpad z praní vápence	Škvára	Odpadní sklo	Popílek
Objemová hmotnost	0,00	18,59	11,38	9,49	3,79
Max. velikost zrn	0,00	0,23	2,32	18,59	2,32
Nutnost předúpravy	18,59	0,00	18,59	0,00	18,59
Cena	0,00	18,59	18,59	18,59	17,35
Zpracovatelnost	18,59	0,00	18,59	12,40	18,59
Preference [%]	37,19	37,42	69,48	58,86	60,66

Z výsledků optimalizace vlastností spektra druhotných surovin je evidentní, že jako ideální pro další testování se jeví vysokoteplotní škvára Oslavany s preferencí 69,48 %, dále pak popílek Tušimice s preferencí 60,66 % a odpadní obalové sklo s preferencí 58,86 %.

8.2 Návrh receptur lepicích hmot

8.2.1 Lepicí hmoty na silikátové bázi

U referenční receptury je zvolen jako pojivo portlandský cement pevnostní třídy 52,5 s vysokými počátečními pevnostmi.

Firmou Redrock Construction s.r.o. byla dodána přísady A. Přísada A se skládá z odpěňovače, urychlovače tuhnutí cementu, redispergovatelného polymerního prášku na bázi styren-akrylátu, superplastifikační přísady a mikromletého vápence, který se přidává z důvodu dobrého promísení všech složek. Dávka polymerního prášku se pohybuje okolo 1 % z celkové suché složky směsi. Firmou byla rovněž dodána polypropylenová vlákna, která mají za úkol omezit výskyt trhlin a drolení. Celkové složení receptury udává Tabulka 17.

Tabulka 17 Základní receptura lepicí hmoty na polymercementové bázi

RECEPTURA	
Složka	Obsah [%]
<i>CEM I 52,5 R</i>	35,1
<i>Přísada A - (Směsná chemie)</i>	6,4
<i>Polypropylenová vlákna</i>	0,1
<i>Plnivo</i>	58,4
<i>Konzistence</i>	Pasta

Výchozí plnivovou složkou je křemičitý písek. Na základě optimalizačního výpočtu byly zvoleny tři nejvhodnější druhotné suroviny. S důrazem na chemickou odolnost je jako plnivo v navrhovaných recepturách zvoleno jemně mleté obalové sklo frakce $\leq 0,063$ mm. Chemickou odolnost může rovněž zlepšit vhodná volba popílku, z tohoto důvodu je vybrán v další receptuře. Z tuzemských zdrojů lze využít jako plnivo škváru.

Tabulka 18 Označení receptur a vybraný druh plniva

Označení receptury	Plnivo
C1-REF	Křemičitý písek 0-1 mm
C2	Odpadní obalové sklo $\leq 0,063$ mm
C3	Elektrárenský popílek Tušimice 0-0,25 mm
C4	Uhelná škvára Oslavany 0-1 mm

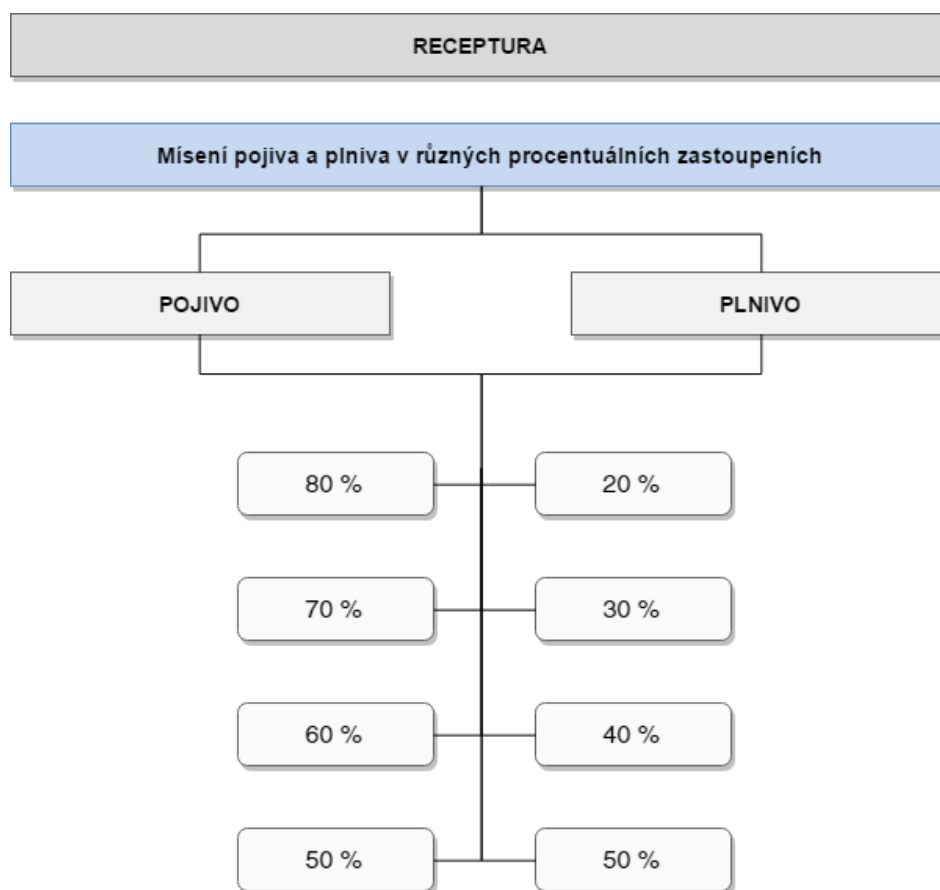
8.2.2 Lepicí hmoty na epoxidové bázi

U čistě polymerních lepicích hmot je jako pojivo vybrána epoxidová pryskyřice. Konkrétně je zvolena nízkoviskózní, dvoukomponentní a bezrozpouštědlová hmota na epoxidové bázi. Vybraná hmota je určena do vysoce mechanicky namáhaných průmyslových prostředí a do prostor s vysokým nárokem na odolnost vůči teplotě.

Tabulka 19 Vlastnosti epoxidové pryskyřice zvolené jako pojivo

Chemická báze	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Zpracovatelnost [min]	Protahnutí do přetržení [%]	Reakce na oheň
Epoxidová	80 - 90	3	15 - 20	4 - 7	B _{fl} - S ₁

Poměr mísení pojiva : plniva je zvolen v rozmezí od 50 % : 50 % do 80 % : 20 % po 10 %. V referenční směsi je jako plnivo navrhován křemičitý písek. V navrhovaných recepturách je křemičité plnivo v prvním případě nahrazeno mletým obalovým sklem, u něhož je vhodnější zvolit jemnost mletí nad 0,063 mm. Použití příliš jemného materiálu by mohl vést k následné horší homogenizaci směsi. U následujících receptur došlo k nahrazení křemičitého složky škvárou a popílkem.



Obrázek 19 Přehled složení navržených lepicích hmot na čistě polymerní bázi

Tabulka 20 Označení receptur a vybraný druh plniva

Označení receptury	Plnivo
EP1-REF	Křemičitý písek 0-1 mm
EP2	Odpadní obalové sklo > 0,063 mm
EP3	Elektrárenský popílek Tušimice 0-0,25 mm
EP4	Uhelná škvára Oslavany 0-1 mm

8.3 Shrnutí etapy III

Pro účely výzkumu bylo navrženo několik variant receptur, které měly totožné složení, ale lišily se druhem přidaného plniva. V první řadě byl proveden optimalizační výpočet za účelem určení nejvhodnějších druhotných surovin pro použití do spojovacích hmot. Jak v případě lepidel na silikátové bázi, tak v případě lepidel na bázi čistě polymerní, je referenční receptura navržena s využitím křemičitého písku jakožto primárního plniva. Druhotná surovina je v dalších recepturách zastoupena škvárou z Oslavan, popílkem z první sekce z elektrárny Tušimice a v poslední řadě obalovým sklem.

Vzhledem k faktu, že majortiní zastoupení na trhu mají lepidla na silikátové bázi, bude v závěrečné etapě této práce provedeno laboratorní testování právě na těchto navržených polymercementových maltách. Další důvody byly již rozebrány v podkapitole 7.1 *Pojiva*.

9 ETAPA IV: EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ NAVRHOVANÝCH LEPICÍCH HMOT

Experimentální část bude věnována ověření parametrů lepidel na silikátové bázi navržených v rámci předchozí etapy. Klíčovou vlastností ověřující použitelnost lepicích hmot v praxi je jejich přídržnost, z tohoto důvodu bude u jednotlivých navrhovaných hmot stanovena. Posléze budou výsledné hodnoty porovnány s normovým požadavkem.

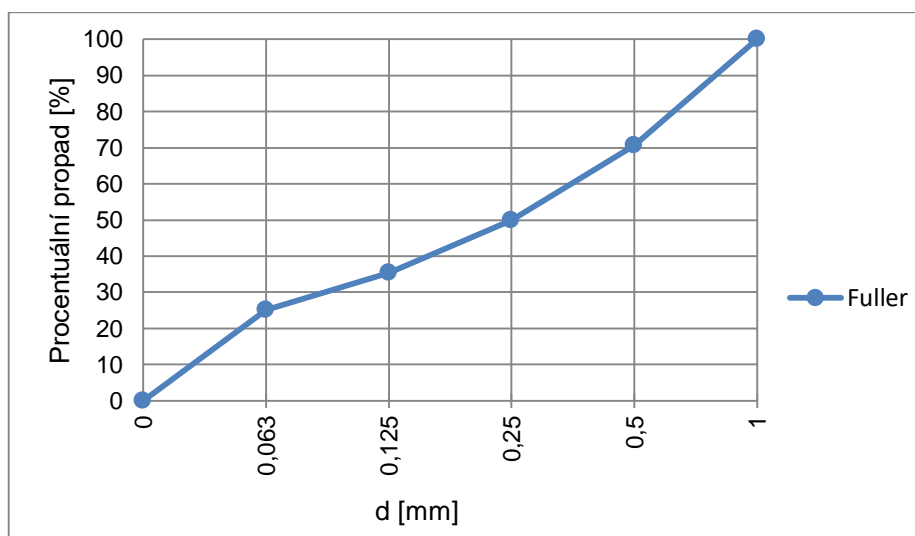
9.1 Popis prováděných zkoušek

9.1.1 Příprava vstupních surovin

Před samotnou přípravou maltové směsi je nutné určit poměr zastoupení jednotlivých frakcí u vybraných plniv (křemičitý písek, škvára, popílek). Tento poměr vychází z Fullerovy křivky zrnitosti, která poskytuje optimální rozdělení jednotlivých frakcí zkoušeného materiálu. Fullerova křivka je dána vztahem:

$$P = \left(\frac{d}{D_{\max}} \right)^{0,5} \cdot 100 [\%]$$

kde P je propad sítím o velikosti otvoru d a D_{\max} je velikost maximálního zrna. [70]



Graf 1 Křivky zrnitosti podle Fullerovy rovnice pro $D_{\max} = 1$ mm

U skelného recyklátu byla rovněž nutná předúprava. Skelné recykláty byly podrceny a následně pomlety na požadovanou jemnost $\leq 0,063$ mm.

9.1.2 Příprava testovaných hmot

V rámci experimentu byly vyrobeny celkově čtyři směsi dle receptury s rozdílným druhem použitého plniva, jak uvádí Tabulka 18.

Postupně bylo naváženo potřebné množství jednotlivých surovin a následně byly složky směsi důkladně smíchány v suchém stavu. Při přípravě bylo nutno zohlednit množství přidané vody a její vliv na zpracovatelnost. Výchozí dávka vody byla 145 g na 1 kg suché směsi, která byla dále dle potřeby upravována za účelem dosažení ideální pastovité konzistence.

V porovnání s referenční směsí s křemičitým pískem, kdy byla po přidání vody pozorována velmi jednoduchá zpracovatelnost, se směs s obsahem škváry zpracovávala při stejném množství vody o něco hůře. Směs obsahující popílek byla při stejném množství vody směs velmi suchá a pro dosažení potřebné konzistence bylo nutné výrazně upravit množství přidané vody. V případě obalového skla množství vody odpovídalo referenční směsi. Spotřebu vody u jednotlivých receptur uvádí Tabulka 21.

Tabulka 21 Množství spotřebované vody u jednotlivých receptur

Označení receptury	C1-REF	C2	C3	C4
Spotřeba vody [g/kg]	145	155	225	145

9.1.3 Stanovení přídržnosti

Pro stanovení přídržnosti byl zvolen alternativní zkušební postup, který vychází z normy *ČSN EN 1348 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky - Stanovení přídržnosti cementových maltovin tahovou zkouškou*. [71]

Postupováno bylo následovně: Namíchaná směs se aplikuje na očištěný povrch stavebního prvku – nenasákavé desky z taveného čediče. Poté se nanese na povrch desky vrstva malty v tloušťce od 5 do 40 mm. Takto připravená malta se ponechá po dobu 5 dní v laboratorním prostředí.



Obrázek 20 Nanesené vrstvy malt: C2 (vlevo), C3 (vpravo), C4 (uprostřed)

Zkouška se provádí pomocí zkušebních kovových terčů. Ty se po 5 dnech od namíchání směsi přilepí na nanesenou vrstvu malty speciálním dvousložkovým lepidlem (v našem případě epoxidové lepidlo Sikadur).



Obrázek 21 Přilepené terče k vrstvě malty

Po vytvrzení lepidla a po uplynutí 7 dní od namíchání směsi se k terči připevní odtrhoměr a je proveden samotný odtrh.



Obrázek 22 Detail terče nalepeného na vrstvě malty před odtržením

Do výsledků je nutno zaznamenat nejen stanovenou hodnotu přídržnosti, ale také místo odtrhu. Můžou nastat následující případy:

- porušení v lepidle: hodnota přídržnosti je vyšší než dosažený výsledek zkoušky, v případě nízkých hodnot se do výpočtu neuvažuje
- porušení ve vrstvě malty: hodnota přídržnosti je vyšší než dosažená hodnota, přídržnost je vyšší než pevnost v tahu malty
- porušení ve spoji podklad/malta: udává přídržnost malty k podkladu
- porušení v podkladu: hodnota přídržnosti je vyšší než dosažená hodnota, porušení je způsobeno nekvalitním podkladem nebo vyšší přídržností než je pevnost v tahu podkladu.

Pokud je místem odtrhu plocha terče (odtrženo v lepidle nebo v místě styku lepidla a terče, případně lepidla a zkoušeného povrchu) je nutno zvolit kvalitnější lepidlo.

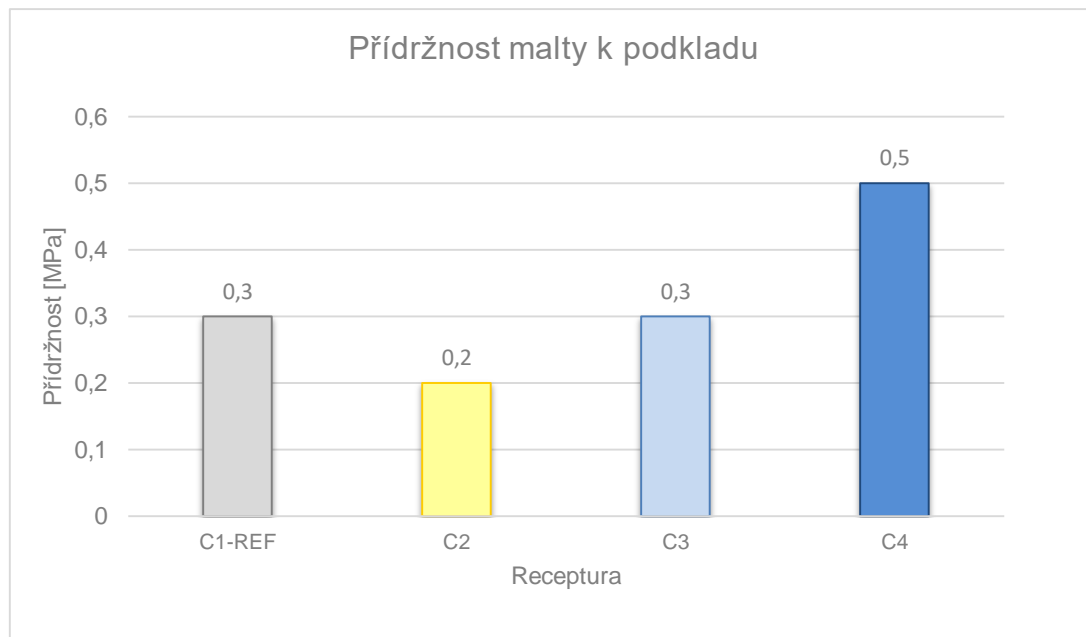
9.2 Vyhodnocení

Naměřeny byly následující hodnoty:

Tabulka 22 Hodnoty přídržnosti malty k podkladu

Receptura	Přídržnost k podkladu [MPa]	Popis lomové plochy
C1-REF	0,3	porušení ve spoji malta/podklad
C2	0,2	porušení ve spoji malta/podklad
C3	0,3	porušení ve spoji malta/podklad
C4	0,5	porušení ve spoji malta/podklad

Ve všech případech došlo k porušení ve spoji malta/podklad, stanovené hodnoty přídržnosti k podkladu nebyly tedy žádným způsobem zkresleny.



Graf 2 Porovnání přídržností jednotlivých lepicích hmot

9.3 Shrnutí etapy IV a diskuze výsledků

Závěrečná etapa této práce byla věnována experimentálnímu ověření vybraných receptur navržených v rámci etapy předchozí. Byly namíchány celkem čtyři směsi polymercementové lepicí hmoty, které se lišily v použitém typu plniva. Primární plnivo (křemičitý písek) v referenční receptuře bylo v následujících recepturách substituováno surovinami z alternativních zdrojů.

Během provádění experimentu bylo pozorováno chování hmoty v čerstvém stavu. Přidáním vody k suché směsi byla snaha dosáhnout pastovité konzistence. Za účelem dosažení obdobné konzistence však muselo být u jednotlivých receptur upraveno přidané množství vody. Bylo zjištěno, že zpracovatelnost směsi je horší v případě hmot, které obsahovaly popílek a škváru. S ohledem na poznatky uvedené výše by bylo vhodné u některých odpadních surovin (konkrétně u popílku a škváry) zvážit úpravu receptury a zvýšit dávku plastifikační přísady.

Důležitou zkouškou pro ověření použitelnosti lepicí hmoty je stanovení její přídržnosti k podkladu. Tato zkouška byla provedena po sedmi dnech od aplikace v laboratorním prostředí. Z výsledných hodnot je patrné, že ani jedna ze zkoušených receptur (včetně referenční) nevyhověla předepsanému normovému požadavku vysoké tahové přídržnosti pro hmoty kategorie C2 nad 1 MPa. I přesto, že nebylo vyhověno limitnímu požadavku pro lepidla určená do náročných podmínek, stále je možné posoudit vliv plniva na danou směs.

Přídržnost k podkladu u referenční receptury s obsahem křemičitého písku měla hodnotu 0,3 MPa a je nutno poznamenat, že se rozhodně nejedná o uspokojivou hodnotu. Při testování ostatních receptur s plnivem z druhotných surovin vyšla nejlépe lepicí hmota dle receptury C4 obsahující škváru. Tato lepicí hmota sice opět nevyhověla normovému požadavku, avšak napříč všemi recepturami se jeví jako nejvhodnější. V případě receptury C3 s obsahem popílku bylo dosaženo podobných hodnot přídržnosti jako u referenční receptury. Nejnižší hodnoty přídržnosti byly stanoveny u receptury C2 s obsahem obalového skla. Z tohoto důvodu se nabízí vyloučení této receptury z případného dalšího testování. Ze zjištěných výsledků vyplývá, že by bylo v budoucnu vhodné zaměřit se na podrobnější výzkum využití popílku a škváry jakožto plniva pro nová průmyslová lepidla.

Na neuspokojivé výsledky zkoušky mohla mít vliv celá řada faktorů. Mezi ně patří například nedostatečně kvalitní úprava povrchu podkladu, nedokonalá homogenizace při přípravě lepicí hmoty, použití nevhodných vstupních surovin či jejich nesprávné dávkování. Je důležité mít na mysli fakt, že stěžejní vliv na přídržnost k podkladu u modifikovaných malt má polymerní přísada. Jak se ukázalo při experimentu, účinek přidané polymerní přísady nebyl dostačující, je tedy nutné zjistit, při jakém dávkování je polymerní přísada efektivní.

V otázce přídržnosti sehrál významnou roli samotný nesavý podklad z taveného čediče. Stanovené hodnoty přídržnosti k čedičovému podkladu přibližně odpovídaly hodnotám přídržnosti u standardních cementových malt bez přídavku jakéhokoliv polymerního modifikátoru k poréznímu povrchu. Dá se tedy předpokládat, že adheze navrhovaného lepidla by byla dostačující při lepení materiálů s vyšší pórovitostí, ovšem v našem případě je nutné zabývat se touto problematikou podrobněji a při dalším výzkumu je třeba sledovat vliv vstupních surovin se zaměřením na aditiva a poměr jejich mísení.

Závěrem lze konstatovat, že s ohledem na vliv typu použitého plniva se jako nejvhodnější ze zkoušených a analyzovaných receptur pro lepicí hmoty na silikátové bázi jeví receptura s obsahem škváry C4. Vzhledem k nevyhovění limitního normového požadavku je do budoucna nejlepším řešením úprava receptury, aby bylo dosaženo normou požadované hodnoty. Otázkou však stále zůstává, jak vlastnosti navržených lepicích hmot ovlivňuje chemické prostředí a působení vyšších teplot. Z tohoto důvodu je v rámci dalšího výzkumu nezbytné provést testování přídržnosti k podkladu v odpovídajících prostředích.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout složení lepicí hmoty na silikátové a polymerní bázi s vysokou chemickou odolností a odolností vůči teplotám do 100 °C pro ukládání nenasákavých prvků s využitím druhotných surovin. Primární použití této hmoty je především pro vysoce namáhané provozy a kanalizace. Navrhované lepicí hmoty měly být na konci vývoje konkurenceschopné vůči ostatním výrobkům na trhu.

Jednoznačně byly identifikovány jednotlivé lepicí hmoty, včetně jejich chování ve spoji a jejich základní rozdělení. Dále byly představeny suroviny pro jejich výrobu a následně byly popsány vlastnosti lepených materiálů a spojů.

Byla věnována pozornost definici požadavků na vlastnosti lepicích hmot a lepených povrchů. Zároveň byla provedena analýza expozičních prostředí. Dále se práce zabývala průzkumem trhu. Bylo zjištěno, že obecně se pro náročnější aplikace používají lepicí hmoty na silikátové bázi a na bázi reaktivních pryskyřic.

Následně byla pozornost soustředěna na rozbor vstupních surovin. Mezi sebou byla porovnána polymercementová a čistě polymerní pojiva. Na základě toho byl popsán charakter plniv používaných do lepidel. Byla zkoumána možnost náhrady primárního plniva plnivem z alternativních zdrojů.

V další části práce bylo pomocí optimalizačního výpočtu provedeno vzájemné porovnání vybraných druhotných surovin. Jako nejvhodnější plniva pro přípravu navrhovaných směsí se ukázala být škvára, popílek a obalové sklo. Na základě těchto znalostí byl proveden samotný návrh jednotlivých receptur. Byly navrženy dva typy lepicích hmot. Pro první typ lepidla bylo zvoleno pojivo na bázi silikátové, pro druhý typ lepidla pojivo na bázi epoxidových pryskyřic. U obou navrhovaných hmot byl použit jako primární, referenční plnivo křemičitý písek.

V závěrečné části bakalářské práce byly dříve navržené receptury prodrobeny částečnému experimentálnímu ověření. Vzhledem ke skutečnosti, že největší zastoupení na trhu mají lepidla na cementové bázi, byly tyto receptury podrobeny testování detailněji. Nejsledovanějším parametrem v případě lepicích hmot určených do náročných podmínek je jejich přídržnost k podkladu. Z tohoto důvodu bylo provedena zkouška stanovení přídržnosti malt tahovou zkouškou. Práce je završena zhodnocením dosažených výsledků. Částečné experimentální ověření ukázalo, že přídržnost k podkladu u navrhovaných lepicích hmot na silikátové bázi je nedostatečná a nevyhovuje normovému požadavku na vysoce odolná polymercementová lepidla. Získané výsledky v praktické části zároveň prokázaly možnost využití škváry a popílku ve stavební praxi, jakožto náhrady primárních plniv v lepicích hmotách na silikátové bázi.

Na základě výše uvedených poznatků lze konstatovat, že zkoumaná problematika vývoje lepicích hmot na silikátové a polymerní bázi s odolností vůči chemikáliím a teplotám do 100 °C nabízí stále široký prostor pro navazující výzkum, přičemž při jeho

úspěšném vyřešení mají vyvinuté lepicí hmoty vysoký potenciál uplatnění na trhu stavebních výrobků. V dalším výzkumu je třeba se prioritně zaměřit na zlepšení adhezních vlastností navrhovaných lepicích hmot k nenasákavému podkladu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1148-1.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ, . *Loctite worldwide design handbook 1996/97*. 2. vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH, 1998. ISBN 09-645-5900-5.
- [3] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982. Polytechnická knihovna (SNTL).
- [4] *Základy teorie lepení* [online]. b.r. [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf
- [5] EBNESAJJAD, Sina. *Adhesives technology handbook*. 2nd ed. Norwich, NY: William Andrew Pub., 2008. ISBN 08-155-1533-2.
- [6] DROCHYTKA, Rostislav. *Keramické obklady a dlažby*. 1. vyd. Hradec Králové: Vega, 2000. ISBN 80-900-8605-5.
- [7] OHAMA, Yoshihiko. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology*. Park Ridge, N.J.: Noyes Publications, 1995. ISBN 08-155-1358-5.
- [8] HLAWICZKA, Jakub. *Studium účinnosti polymerní přísady EVA v závislosti na ošetřovacích podmínkách malty*. Brno, 2016, 67 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
- [9] ŽIŽKOVÁ, Nikol. *Polymercementové malty s alternativními surovinami*. Brno: VUTUM, 2013. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. Habilitační a inaugurační spisy. ISBN 978-80-214-4.
- [10] Označení lepicích hmot. In: *Cech obkladačů ČR* [online]. b.r. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.cech-obkladacu.cz/informujeme/lepici-hmoty>
- [11] ČSN EN 197-1. *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [12] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů: celostátní vysokoškolská příručka pro studenty oboru 27-06-8 Technologie silikátů*. 2. upr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [13] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia*

- materiálů*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4.
- [14] DE SCHUTTER, G. a G. WU. Effect of calcium aluminate cement variety on the hydration of portland cement in blended system. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 29(4), August 2014, pages 751-756, b.r.
- [15] KUNC, M. *Latexem modifikované cementové kompozity*. Brno, 2013, 143 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
- [16] EHRENSTEIN, Gottfried. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [17] LIDARÍK, Miloslav. *Epoxidové pryskyřice*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: SNTL, 1983. Makromolekulární látky.
- [18] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901-5704-1.
- [19] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2443-5.
- [20] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [21] JIROUŠOVÁ, Kateřina. Vlastnosti cementových a polyuretanových lepidel. In: *Svaz výrobců SOMS ČR* [online]. b.r. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://www.svsoms.cz/files/Cementova_a_polyuretanova_lepidla.pdf
- [22] EDITED BY BRYAN ELLIS, a Ray SMITH, Bryan ELLIS, ed., Ray SMITH, ed. *Polymers a property database*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor, 2009. ISBN 978-142-0005-707.
- [23] WYPYCH, George. *Handbook of fillers*. 4rd ed. Toronto: ChemTec Pub, 2016. ISBN 978-189-5198-416.
- [24] PYTLÍK, Petr. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1123-6.
- [25] MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR. *Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů : celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty vysokých škol chemicko-technologických studijního oboru 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury,

1987.

- [26] *Polymer and fillers* [online]. 2008 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://polymer-filler.blogspot.cz/2008/08/chapter-1-introduction-fillers.html>
- [27] Zpracování plastů: Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. *Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec, b.r. [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#012
- [28] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Praha1: SNTL, 1974.
- [29] FREJDIN, Anatolij. *Pevnosť a životnosť lepených spojov*. 1., slov. vyd. Bratislava: Alfa, 1988. Edícia chemickej literatúry (Alfa).
- [30] GREGEROVÁ, Miroslava. *Petrografie technických hmot*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1996. ISBN 80-210-1427-X.
- [31] KLOČUREK, Vladimír, Jan NEUSTUPNÝ a Jiří VALENTA. *EUTIT®: kámen nad ocel: 60 let výroby taveného čediče ve Staré Vodě = stone over steel: 60 years of cast basalt production in Stará Voda*. Stará Voda: EUTIT, s.r.o., 2011. ISBN 978-80-270-0490-4.
- [32] PELIKÁN, Antonín. *Tavené horniny: výrobky a jejich použití v průmyslu*. 1. vyd. Praha: Práce, 1955. Knižnice ROH-Svazu zaměstnanců v průmyslu sklářském a keramickém.
- [33] JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
- [34] ŠTUMPA, Bohumil a Ondřej ŠEFCŮ. *100 osvědčených stavebních detailů: zednictví*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-3580-1.
- [35] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty* [online]. 3. vyd. Praha, 2013 [cit. 2016-11-12]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH3v1.pdf>
- [36] KOUKAL, František. *Tavený čedič a jeho praktické využití*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [37] NAITO, K., M. ONTA a Y. KOGO. The effect of adhesive thickness on tensile and shear strength of polyimide adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 36. Volume 36, July 2012, pages 77–85, 2012, , 77–85. ISSN 0143-7496.
- [38] FERRIER, E., O. RABINOVITCH a E. MICHEL. Mechanical behavior of concrete–

- resin/adhesive–FRP structural assemblies under low and high temperatures. *Construction and Building Materials*. Volume 127, November 2016, pages 1017-1028, b.r. ISSN 0950-0618.
- [39] SHIMIZU, K. K. MALMOS, S. SPIEGELHAUER, J. HINKE, A. HOLM, S. PEDERSEN, K. DAASBJERG a M. HINGE. Durability of PEEK adhesive to stainless steel modified with aryldiazonium salts. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. Volume 51, June 2014, pages 1–12, b.r. ISSN 01437496.
- [40] Lepicí hmoty. *Obklady.cz* [online]. b.r. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.obklady.cz/top10/9-SPOJOVACI-MATERIALY/25-LEPICICI-HMOTY>
- [41] ČSN EN 12004+A1. *Lepidla pro obkladové prvky - Požadavky, posuzování shody, klasifikace a označování*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [42] *Městské standardy vodárenských a kanalizačních zařízení na území hl. m. Prahy*. Praha: PVS, b.r.
- [43] *Eufix S [Technický list]* [online]. b.r. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: https://www.eutit.cz/files/ke_stazeni/eufix_s.pdf
- [44] *Sortiment maltových směsí ERGELIT* [online]. b.r. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.hermes-technologie.com/cz/malty/sortiment-maltovych-smesi-ergelit.html>
- [45] *Permapatch RAPID [Technický list]* [online]. b.r. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Permapatch_RAPID.pdf
- [46] *Redfix EP [Technický list]* [online]. b.r. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Redfix_EP.pdf
- [47] TOLINSKI, Michael. *Additives for polyolefins: getting the most out of polypropylene, polyethylene and TPO*. 1st ed. Oxford: William Andrew Publishing, 2009. ISBN 978-081-5520-511.
- [48] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: Střední odborné učiliště Svitavy, 2015 [cit. 2016-11-25]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [49] XANTHOS, Marino. *Functional fillers for plastics*. 2nd updated and enl. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. ISBN 978-352-7323-616.
- [50] Přehled minerálů: Slídy. *Geologie, mineralogie, historie dolování* [online]. b.r. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.velebil.net/minerality/slidy>

- [51] ŽIŽKOVÁ, Nikol. Nové sanační materiály - přínos pro ekologii. In: *Sanace sborník přednášek*. Brno: SSBK, 2002, s. 311. ISBN 1211- 3700.
- [52] Produkce popílků. In: *Odpady* [online]. b.r. [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/produkce-popilku/>
- [53] Popílek. In: *SILLO TRANSPORT*, a.s. [online]. b.r. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.silotransport.cz/>
- [54] Produkce popílků. In: *EnviWeb* [online]. b.r. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/48537/produkce-popilku>
- [55] FEČKO, Peter. *Popílky*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0327-5.
- [56] HELA, Rudolf. Příměsi do betonu. *BETON TKS* [online]. b.r., 2015(2) [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-2-04_0.pdf
- [57] ČERNÝ, V. a K. KULÍSEK. Vlastnosti popílků z různých odběrových míst energetického závodu. In: *Recycling 2011 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin*. Brno: VUT v Brně, 2011, s. 70-75. ISBN 978-80-214-4253- 5.
- [58] Uhelná elektrárna Tušimice: Nad elektrostatickými odlučovači. In: *Skupina ČEZ* [online]. b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-tusimice/>
- [59] VANÍČEK, Štěpán. *Mechanická a chemická povrchová odolnost polymerních materiálů, zkoušení a možnosti zlepšení jejich vlastností*. Brno, 2013, 70 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Vít Petránek, Ph.D.
- [60] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla MATULOVÁ. *Lehké stavební látky*. Brno: Vysoké učení technické, 2006. Učební texty vysokých škol.
- [61] Processing of combustible waste. In: *Waste disposal of Tokyo* [online]. b.r. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/shiro/shori/kanen/sullage.html>
- [62] PERA, J., L. COUTAZ, J. AMBROISE a M. CHABABBET. Use of incinerator bottom ash in concrete. *Cement and Concrete Research* 27. b.r., 1997(27), 1-5.
- [63] KAPČUK, Pavel. *Lehčené podlahy na bázi pěnobetonů a plynobetonů s využitím druhotných surovin*. Brno, 2013, 90 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí

práce Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.

- [64] *Artglas Recykling* [online]. b.r. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.artglas-recykling.pl/cz>
- [65] Recyklace skla a její význam. In: *SPL Recycling* [online]. b.r. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: http://www.splrecycling.com/recyklace_skla_a_jeji_vyznam.html
- [66] MELICHAR, T. a D. PROCHÁZKA. Studium vlivu jemnozmných příměsí z alternativních zdrojů na fyzikálně-mechanické parametry HSC. *BETON TKS* [online]. b.r., 2011(6) [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2011-6-66_0.pdf
- [67] Silica fume. In: *Indiamart* [online]. b.r. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/shishirexport-house/silica-fume.html#silica-fume>
- [68] *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. 1st ed. 1993. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization, 1993. ISBN 92-671-0188-9.
- [69] SEKNIČKOVÁ, Jana. *Vícekriteriální hodnocení variant – VHV* [online]. b.r. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/EKO422-Vahy.pdf>
- [70] *PŘÍRUČKA TECHNOLOGA - BETON: suroviny – výroba – vlastností* [online]. Aktualizace 1. vydání. Heidelbergcement.group, 2013 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.betonuniversity.cz/stahnout-soubor?id=1025>
- [71] ČSN EN 1348. *Malty a lepidla pro keramické obkladové prvky - Stanovení přídržnosti cementových malt tahovou zkouškou*. ÚNMZ, 2008.
- [72] *EUTIT s.r.o.: Dlaždice, kanalizace a potrubí z taveného čediče - EUTIT - slévárna čediče* [online]. 2010 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: <http://www.eutit.cz/>
- [73] *Materia: global network in the area of innovative materials* [online]. b.r. [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: <https://materia.nl/material/basalt-tiles/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Adheze a koheze v lepeném spoji [2].....	13
Obrázek 2 Vztah lepidla k lepenému materiálu [3].....	14
Obrázek 3 PMM ihned po zamíchání [8]	16
Obrázek 4 Stadia tvorby matrice složené z cementu a polymeru po zamíchání [8]	17
Obrázek 5 Polyadiční reakce mezi epoxidovou pryskyřicí a tvrdidlem [16].....	21
Obrázek 6 Strukturní vzorec PUR [22]	21
Obrázek 7 Hydrolyza dichlorsilanů a jejich samovolná polykondenzace [20]	22
Obrázek 8 Polymerace cyklosiloxanů [20].....	22
Obrázek 9 Chlazení výrobků v tunelové peci - počátek procesu ochlazování [33].....	27
Obrázek 10 Chlazení výrobků v tunelové peci - konec procesu ochlazování [33].....	28
Obrázek 11 Různé formáty čedičové dlažby s rozdílnou povrchovou úpravou [73]	30
Obrázek 12 Příklad dílu s otěruvzdornou vložkou [72].....	31
Obrázek 13 Čedičový obklad betonového prefabrikovaného dílu [72].....	31
Obrázek 14 Porovnání smáčivosti lepicí hmoty u upraveného a neupraveného podkladu [2]...37	
Obrázek 15 Popílek [53]	49
Obrázek 16 Škvára [61]	50
Obrázek 17 Skleněné střepy určené k recyklaci [65]	51
Obrázek 18 Křemičité úlety [67]	52
Obrázek 19 Přehled složení navržených lepicích hmot na čistě polymerní bázi	57
Obrázek 20 Nanesené vrstvy malt: C2 (vlevo), C3 (vpravo), C4 (uprostřed)	61
Obrázek 21 Přilepené terče k vrstvě malty	61
Obrázek 22 Detail terče nalepeného na vrstvě malty před odtržením	62

Seznam grafů

Graf 1 Křivky zrnitosti podle Fullerovy rovnice pro $D_{\max} = 1 \text{ mm}$	59
Graf 2 Porovnání přídržností jednotlivých lepicích hmot	63

Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozdělení jednotlivých druhů lepicích hmot [6]	15
Tabulka 2 Označení lepicích hmot [10]	18
Tabulka 3 Lepicí hmoty používané na základě savosti materiálů [4]	24
Tabulka 4 Součinitelé délkové teplotní roztažnosti různých materiálů [3]	25
Tabulka 5 Přehled vlastností přírodního a taveného čediče [31]	28
Tabulka 6 Výsledky zkoušek chemické odolnosti taveného čediče proti různým činitelům za varu (zkouška trvá 3 hod.) [36]	29
Tabulka 7 Specifikace jednotlivých druhů podkladů a vhodných spojovacích hmot [6]	37
Tabulka 8 Požadavky na cementová lepidla (C) [41]	39
Tabulka 9 Požadavky na lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R) [41]	40
Tabulka 10 Technické parametry Eufix S [43]	42
Tabulka 11 Technické parametry Permapatch RAPID [45]	43
Tabulka 12 Technické parametry Redfix EP [46]	44
Tabulka 13 Požadavky na nově vyvíjené lepicí hmoty na bázi cementu a na polymerní bázi ...	46
Tabulka 14 Preference jednotlivých kritérií	54
Tabulka 15 Vyčíslení jednotlivých kritérií	55
Tabulka 16 Výsledné hodnoty preference jednotlivých druhotných surovin	55
Tabulka 17 Základní receptura lepicí hmoty na polymercementové bázi	56
Tabulka 18 Označení receptur a vybraný druh plniva	56
Tabulka 19 Vlastnosti epoxidové pryskyřice zvolené jako pojivo	57
Tabulka 20 Označení receptur a vybraný druh plniva	58
Tabulka 21 Množství spotřebované vody u jednotlivých receptur	60
Tabulka 22 Hodnoty přídržnosti malty k podkladu	63